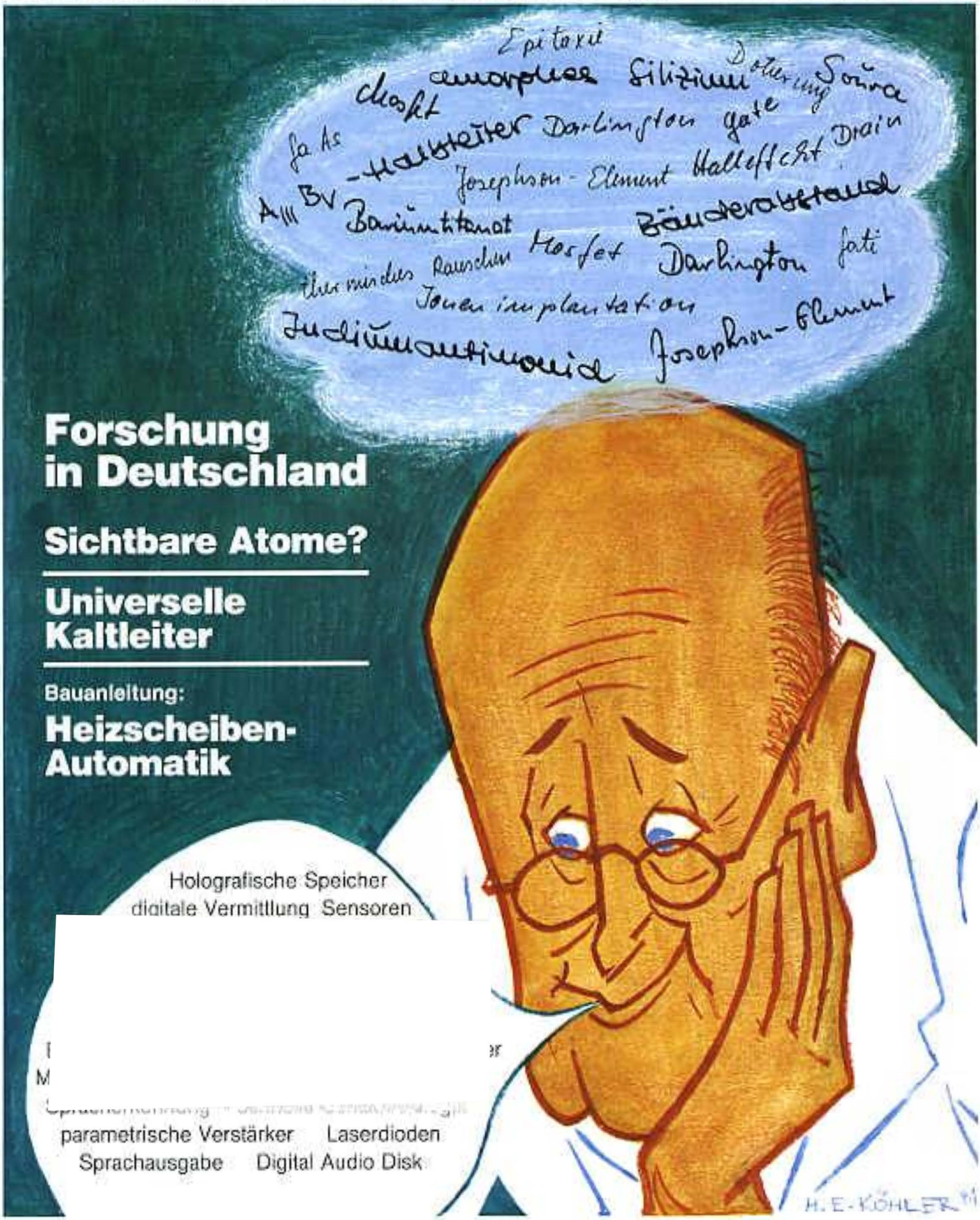
2. Oktober 1981 · DM 4.– · öS 36.– · sfr 4.30 · Nr. 20

Funkschau

Elektronik in Audio und Video, Kommunikation und Meßtechnik



Forschung in Deutschland

Sichtbare Atome?

Universelle Kaltleiter

Bauanleitung:

Heizscheiben-Automatik

Holografische Speicher
digitale Vermittlung Sensoren

parametrische Verstärker Laserdioden
Sprachausgabe Digital Audio Disk

Forschung hat viele Gesichter

Wer etwas „erforscht", muß wohl von einem bekannten Phänomen ausgehen. Dieses Phänomen möchte man in seiner Grundstruktur, in seinen Wirkungsmechanismen ergründen, weil man sich von der Detailkenntnis Informationen über eine mögliche Nutzung verspricht. So steht am Anfang wohl stets die phänomen-orientierte Forschung, die aufklärender Natur ist: Sie analysiert mehr, als sie synthetisiert. Sie führt zwar zu neuen Erkenntnissen, selten aber zu neuen Produkten.

So nimmt es nicht Wunder, wenn an die phänomen-orientierte Forschung sich eine völlig anders geartete Richtung anschließt, die eine stärkere Produktorientierung hat. Das ist, wohlgemerkt, noch nicht Entwicklung: Hier soll zunächst erst einmal die Möglichkeit erkundet werden, aus den Grundlagenideen ein Produkt zu synthetisieren. Der wichtigste Unterschied zur Entwicklung ist wohl, daß auf dieser Forschungsebene die Chance erst 1 : 1 steht, daß schließlich ein funktionsfähiges (aber noch nicht zwangsläufig verkaufsfähiges) Produkt zustande kommt. Um diesen Prototyp dann verkäuflich zu machen, müssen letztlich Entwickler und Konstrukteure an die Arbeit.

Ein Großunternehmen hat einmal gesagt, daß für die Zeit vom Aufgreifen

einer Idee bis zum ersten Beweis, daß sie realisierbar ist, vergleichsweise wenig Geld investiert werden muß. Wenn es dann aber darum geht, systematisch vorzugehen, dann sollte bei einem Forschungsprojekt schon eine 50 %ige Wahrscheinlichkeit da sein, daß die Arbeit zu einem Abschluß geführt werden kann. Für Entwicklungsprojekte geht man davon aus, daß sogar eine 90 %ige Wahrscheinlichkeit vorhanden sein sollte.

Doch wann ist ein Forschungsprojekt abgeschlossen? Nur selten wird der Fall eintreten, daß die Forscher selbst sagen: Wir wissen jetzt alles. Meist muß man wohl einen Schlußstrich ziehen, wenn man das Gefühl hat, daß der mögliche Wissenszuwachs verglichen mit den bisherigen Erkenntnissen nur noch klein sein kann.

Eine Arbeit zum Abschluß führen, sagt noch nicht, daß dies ein positiver Abschluß sein muß. Abgeschlossen ist eine Arbeit auch dann, wenn die Erkenntnis zutage tritt, daß etwas *so* nicht geht, wie man es sich ursprünglich gedacht hat.

Kein Industrieunternehmen hat jemals eine Zahl veröffentlicht, wie hoch die jährlichen Aufwendungen für eingestellte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sind. Geht man von den Realisierungswahrscheinlichkeiten für Forschung (50 %) und Entwicklung (90 %) aus und berücksichtigt man weiter, daß die Forschungsaufwendungen in der Industrie etwa 10 % der gesamten F + E-Aufwendungen betragen, dann errechnet sich daraus eine geschätzte Verlustquote von 14 %: Ein hoher Preis für eine der führenden Industrienationen, wenn man bedenkt, daß der gesamte F + E-Aufwand in der Bundesrepublik bei 25 Mrd. DM pro Jahr liegen dürfte!

Klaus H. Knapp

In diesem Heft

Focus

Forschung hat viele Gesichter 3

Leserbriefe 6

Informationen

0,5 µm mit Röntgenstrahlen 8
Wie man Glasfasern bricht 8
Monitor mit hoher Auflösung 10
Mikrofon-Jubiläum 10
Urtel-Preis vergeben 10
Murphy's Gesetze (24) 10
Nochmals: Elektronische Kleinbildkamera 12
Aktiver Gehörschutz 12
Elektronik für die Wissenschaft ... 14
Darlehen fördern Technologie-Transfer 14
Für Elektrotechniker 14
USA-Hörfunk für Europa 16
Heinrich Barkhausens 100. Geburtstag 16
Valvo wird Fast-ICs liefern 16
Supercomputer für Wetterdienst .. 16
50 Jahre Christiani 18
Seoul sendet in Deutsch 18
IDEE ersetzt MEDE 18

Neue Medien

Satelliten 20
Teletext in der Schweiz 22
Kabelfernsehen 22

express

Je dichter die Maschen – desto höher die Kosten 24
Mehrheit für Technik und technischen Fortschritt 26
ITT-Unterhaltungselektronik: Führungsrolle auf die Fahnen geschrieben 28
Stärkeres Wachstum bei Hörfunkgeräten 30

Neuheitenmarkt 106

Neue Bücher 122

Neue Druckschriften 124

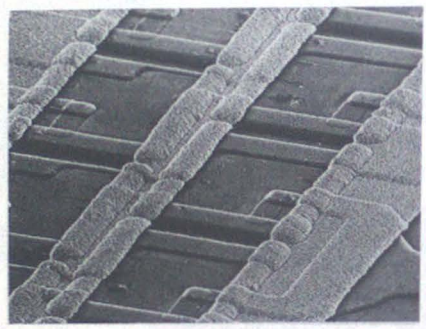
Impressum 105

Forschung

Kann man Atome sehen? 53
Speichernde Lichtsteuer- und Display-Komponenten 57
Ein System zur Sprachsynthese aus deutschem Text 61
Laserdioden – Grundbauelemente für die Nachrichtentechnik 63

Sichtbare Atome?

Der Elektronenmikroskopiker wird oft gefragt, ob man im Elektronenmikroskop Atome sehen kann. Die Antwort ist ein klares Jein: Man kann zwar keine einzelnen Atome sehen, aber man kann manchmal etwas sehen, das auf einzelne Atome zurückgeht, z. B. dunkle Flekken, die von Uranatomen verursacht werden, welche auf einer sehr dünnen Kohlefolie liegen. **Seite 53**



Magneto-Optik

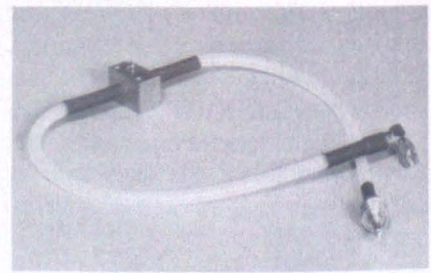
In dem Beitrag werden neuartige zeilen- und matrizenförmige Lichtsteuerkomponenten aus magneto-optischem Eisengranat beschrieben. Die zeilenförmigen Komponenten können als nichtmechanische Mustergeneratoren bei optischen Zeilendruckern verwendet werden, wobei in einem modulartigen Aufbau hohe Auflösung erreicht wird. Die zweidimensionalen Komponenten bilden die Grundlage einer neuen Displaytechnik für Datensichtgeräte, wobei die Funktionen Bildspeicherung und Display in einer Komponente vereinigt werden. **Seite 57**

Sprachsynthese

Am Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Akustik der Ruhr-Universität wurde der Vorleseautomat „Syntex" entwickelt. Dieser Automat kann beliebigen deutschen Schrifttext, den man über eine Tastatur oder auf andere Weise eingibt, in gut verständlicher Sprache vorlesen. Im Gegensatz zu üblichen Sprachsynthetisatoren, die mit codiert gespeicherten Worten arbeiten, erfolgt die Sprachsynthese bei Syntex auf der Basis von Einzellauten. **Seite 61**

Laserdioden

Die ursprüngliche Skepsis gegenüber optischen Nachrichtensystemen mit Lichtleitfasern wich mit fortschreitender Entwicklung der Komponenten und wurde auf Grund der Erfahrungen mit ersten Versuchssystemen von der Erkenntnis abgelöst, daß der Glasfasertechnik für künftige Nachrichtennetze eine entscheidende Bedeutung zukommt. In diesem Zusammenhang ist der Weiterentwicklung der Laserdioden von einem physikalischen Phänomen zu nachrichtentechnischen Sendeelementen für Glasfasersysteme eine Schlüsselrolle beizumessen. **Seite 63**



Zum Titelbild

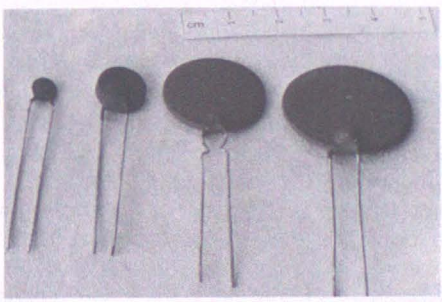
Forschung – so hat jemand gesagt – ist 1 % Inspiration und 99 % Transpiration. Das hübsche Bonmot weist im Kern darauf hin, daß Forschung zu einem ganz wesentlichen Teil mühevolle Kleinarbeit ist, bei der Bekanntes neu kombiniert und Unbekanntes erhellt werden muß. Aus Fragmenten, Teilergebnissen und bekannten Technologien entstehen neue Ideen und Produkte, oft von so zwingender Logik, daß man sich fragt, warum noch niemand vorher darauf gekommen ist. Die geniale Einzelleistung ist heute aber eher die Ausnahme als die Regel. (Zeichnung: H. E. Köhler)

Schicht für Schicht

Die Epitaxie ist heute ein bewährtes Herstellungsverfahren für Halbleiter-Bauelemente. Dieses Verfahren, bei dem man schichtenförmige Kristalle der gewünschten Qualität auf preiswerten Trägermaterialien aufwachsen läßt, bietet u. a. den Vorteil, daß die Zusammensetzung der aufwachsenden Schicht während des Zuchtprozesses verändert werden kann. **Seite 67**

Kaltleiter

Temperaturabhängige Widerstände, die für Temperaturmessungen und zur Kompensation von Temperaturabhängigkeiten eingesetzt werden, haben Temperaturkoeffizienten von einigen Prozent je Grad. Dagegen kann man beim ferroelektrischen Bariumtitanat-Kaltleiter geradezu von einer Sprungtemperatur sprechen, oberhalb derer sich der Widerstand bei jeweils 2 Grad Temperaturerhöhung verdoppelt.



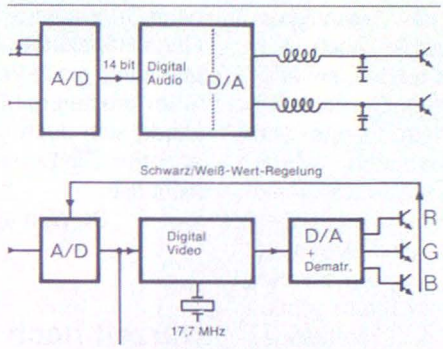
Seite 71

Elektronische Korrespondenz

Im Rahmen der Telekommunikation spielt die Übermittlung schriftlicher Nachrichten seit jeher eine besondere Rolle. Mit der Eröffnung des Teletex-Dienstes der Deutschen Bundespost im März dieses Jahres sind nun für die elektronische Korrespondenz weitere Entwicklungsmöglichkeiten geschaffen worden. **Seite 83**

TV – digital

Am Anfang der Entwicklung eines Farbfernsehgeräte-Chassis, dessen Schaltungskonzept weitgehend auf der Digitaltechnik basiert, stehen natürlich wirtschaftliche Überlegungen. Schon das Blockschaltbild für ein solches Konzept läßt ahnen, wie groß der nächste Integrationsschritt sein könnte und wieviel diskrete Bauelemente sich dabei einsparen lassen. Eine überschlägige Rechnung bei ITT führte zu einer Einsparung von 310 diskreten Bauelementen: 80 im Farbdecoder, 70 bei den Ablenkstufen, 60 im Tonteil und 100 bei der Bedienungseinheit. **Seite 87**



Heizscheiben-Automatik

Freunde des „vollautomatisierten" Autos werden ihr Vergnügen an dieser Bauanleitung haben. Die Schaltung sorgt dafür, daß die Heizung der Heckscheibe abschaltet, wenn die Sicht nach hinten frei ist, und entlastet so die Batterie von überflüssiger Energieabgabe. Die Elektronik ist einfach zu realisieren, allerdings erfordert der Einbau der Sensoren – in diesem Fall Infrarotsender und -empfänger – etwas Geschick. **Seite 95**

Funktionsgenerator

Ein Funktionsgenerator gehört zur Grundausstattung jedes Meßplatzes. Von der Vielzahl von Modellen, die teils als Fertigprodukt, teils als Bausatz angeboten werden, haben aber nur wenige die Eigenschaften des in dieser Bauanleitung beschriebenen Gerätes: Frequenz- und Amplitudenmodulation, variabler Offset der Ausgangsspannung und niederohmiger Ausgang (wahlweise ≈ 0 oder 50 Ω). Der Schaltungsaufbau kann nach dem vorgeschlagenen Platinen-Layout vorgenommen werden, zum Abgleich sind ein Oszilloskop und ein Zähler erforderlich. **Seite 97**

Audio

Die CX-Schallplatte von CBS 56
Für „saubere" Radios 66
Zweimal bezahlen? 91

Bauelemente

Selbstabgleichender Heizungsregler 66
Schicht für Schicht – Züchtung schichtenförmiger Halbleiterkristalle 67
Kaltleiter messen, schalten und heizen 71
ICs für spezielle Anwendungen 82

Kommunikation

Perspektiven der Büro-Kommunikation – Das Terminal am Arbeitsplatz wird universell 76
Vom Telegramm zu Teletex 83
Antennenverstärker für 12 Fernsehprogramme 89

Video

Auf dem Weg zum digitalen TV-Bildschirmspeicher – Fernsehbilder ohne Flimmern und Rauschen 87
Stereoton-TV mit Monogerät 89
42-cm-Farbfernsehgerät: Leistungsaufnahme nur noch 35...45 W 90

Werkstatt & Service

Bildröhren-Regenerierung 92

Praxis & Hobby

Heizscheiben-Automatik 95
Ein vielseitiger Funktionsgenerator 97
Zehnkanal-Analog-Multiplexer/Demultiplexer 100
Drehmoment-Indikator 101
Platinen selbst gemacht 102

Berufswissen

Was man in USA verdient 103
Antennen-Spezialisten aufgerufen 104
Der ideale Chef 104

Rundfunkstörungen durch Mikrocomputer

Ich habe mir den Mikrocomputer EG 3003 gekauft, der jedoch im UKW-Rundfunkbereich bei Nachbarn im Haus stört. Da auch Breitbandnetzfilter nicht helfen, suche ich nach einer Möglichkeit, die Störungen zu beheben. Sie machen sich schon bemerkbar, wenn ich das Gerät einschalte. Man hört dann einen Piepston im Rundfunkempfänger, ebenso wenn ich auf die Tasten drücke. Man hat mir gesagt, ich müsse damit „leben".

Hartmut Bülow,
Wuppertal

Dieser Effekt ist schon vom TRS 80 her bekannt, der daher auch in den USA von der Fernmeldebehörde FCC als „Sender kleiner Leistung" eingestuft wurde. Offensichtlich breiten sich die Störungen sowohl über die Netzzuleitung als auch durch den Freiraum aus. Auch Abschirmversuche brachten keinen Erfolg.
Manchmal war eine Besserung festzustellen, wenn Mikrocomputer und gestörtes Gerät an verschiedenen Netzphasen betrieben werden.

Die Redaktion

Zahlenjongleure

FUNKSCHAU 1981, Heft 17, Seite 32

Die oben angegebene Darstellung kann nicht unwidersprochen bleiben. „Fast schon obligatorisch" seien die Klagen der Gema über die Verluste durch Leerkassetten. Allerdings – und bis auf die zum Ausdruck gebrachten Einschränkungen ist das richtig. Denn laut Gesetz über die Wahrnehmung von Urheberrechten und verwandten Schutzrechten vom 9.9.1965 § 6 ist dieses Vorgehen tatsächlich obligatorisch: „Die Verwertungsgesellschaft ist verpflichtet, die zu ihrem Tätigkeitsbereich gehörenden Rechte und Ansprüche auf Verlangen der Berechtigten zu angemessenen Bedingungen wahrzunehmen". Im Einzelnen ist auf die Argumente zu erwidern:

1. Wenn die Gleichzeitigkeit von Geräte- und Leerkassettenabgabe der rechtlichen Grundlage bisher noch entbehrt, so wird es Zeit, sie endlich zu schaffen. Die Initiative zur gleichzeitigen Geräte- und Leerkassettenabgabe würde der realen Inanspruchnahme urheberrechtlicher Leistungen in gerechter Feinabstimmung entsprechen, vergleichbar den bei Telefon oder Strom gepflogenen Praktiken: Geräteabgabe gleich Grundgebühr und Leerkassettenabgabe gleich Verbrauchsgebühr. Der Verbraucher würde also nicht zweimal, sondern nur anders, nämlich auf gerechte Weise zahlen.
2. Es ist das Recht der Industrie, ihre eigenen Zahlen zu nennen, nur stimmen sie deswegen noch nicht. Hier hilft die von der Deutschen Landesgruppe der IFPI genannte Zahl von „mindestens 92 Mio. Stück" Leerkassetten im Jahre 1980 weiter, also nicht wie die Industrie meint, 85 Mio. 1980 lag die Zahl der urheberrechtlich oder schutzrechtlich relevanten Aufnahmen bei 91,2 %. Die kümmerlichen verbleibenden 8,8 % reichen doch wohl kaum als Argument gegen eine Leerkassettenabgabe aus.
3. Das private Überspielen für das Abhören im Auto stellt nichts anderes als eine Schein-Alternative dar. Nicht wo die Leistungen in Anspruch genommen werden, sondern daß sie überhaupt in Anspruch genommen werden, ist doch von Bedeutung für die Vergütungskommission.

Gema, Pressereferat,
Bonn

Hertz statt Herz

FUNKSCHAU 1981, Heft 18, Leitartikel Seite 3

Sehr gut, daß Sie mal die Dinge beim Namen nennen. Die Menschen haben einfach zuviel Geld, und die Industrie versteht es, ihnen das Geld aus der Tasche zu ziehen.
Einen Aspekt haben Sie nicht erwähnt: Da gibt es doch HiFi-Fans, die behaupten, sie würden den Übernahme-Knick beim C-Verstärker hören (trotz Gegenkopplung), es müsse unbedingt ein A-Verstärker her – am liebsten mit Röhren, das würde sich doch ganz anders anhören! Die Dummen werden nicht alle.

Dr. Winfried Wisotzky,
Hamburg

Uhrzeit nach der Mengenlehre

FUNKSCHAU 1981, Heft 14, Seite 85 und Leserbrief Heft 17, Seite 6

Wenn Herr Helmuth Lemme schon mal was von Mengenlehre gehört hätte, so bräuchte er nicht zu behaupten, der Autor Reinhard Schaar bzw. der Erbauer der „Berlin-Uhr", Dieter Binninger, wüßten nicht, was Mengenlehre ist. Das führt auch zu dem Vergleich mit dem „veralteten römischen Zahlensystem".
Zum anderen kann ich nicht glauben, daß Herr Binninger ein Patent bekommen hätte, wenn seine Uhr nichts mit der Mengenlehre zu tun hat, da seine Erfindung schließlich auf diesem Prinzip basiert.

Harald Schlimper,
Schonach

□

Zu dem Brief von Herrn Binninger in Heft 18 möchte ich wie folgt Stellung nehmen:

Die Idee zu der von mir entworfenen Digitaluhr wurde im November 1979 geboren. Als *einzige* Vorkenntnis zu der Verwirklichung stand mir damals eine Vorlesung über Zählerschaltungen zur Verfügung. Bei Versuchen mit den JK-Grundbausteinen 7476 bot sich der Johnson-Zähler an. Der Aufbau, die Art der Anzeige, die Zusammenstellung der verschiedenen LED-Gruppen, Reset-Schaltung und die Gestaltung der Uhr (*Bild*) erfolgte

ausschließlich durch eigene Ideen, die durch einfachste, weitverbreitete und preisgünstige ICs realisiert wurden.
Außerdem finde ich die weitere Gruppenunterteilung der unübersichtlichen 5-min-Kette bei der „Berlin-Uhr" durch eine Gruppe mit ¼-h-Wertigkeit, wie bei meiner Uhr, vorteilhafter. Und schließlich kann ich mir ein derartiges Gebilde als Tischmodell auf meinem Tisch nicht vorstellen.

Reinhard Schaar,
Birkenfeld

Rauschminderungssysteme

In Heft 16 der FUNKSCHAU fiel mir der Begriff „dbx" auf, ein neues Rauschminderungssystem, das in Konkurrenz mit Dolby C steht.
Meines Erachtens ist das Rennen in den letzten zehn Jahren eindeutig zugunsten von Dolby gelaufen, so daß es aussichtslos ist, mit High-Com und anderen Neuentwicklungen aufzukreuzen. Denn Handel, Industrie und Publikum teilen den HiFi-Markt ein in „billige" Geräte ohne Dolby und teurere Geräte mit Dolby, und auch bei bespielten Kassetten gibt es nur die Begriffe „mit" und „ohne" Dolby. Wie will man also die ganze Welt umerziehen? Wenn Dolby B nicht mehr ausreicht, nehme man eben Dolby C – und kann dann auch Dolby-B-Aufnahmen abspielen.

Hans J. Wilhelmi
Viña del Mar,
Chile

Dr. Helmut Föll

Kann man Atome sehen?

Der Elektronenmikroskopiker wird oft gefragt: Kann man im Elektronenmikroskop Atome sehen? Die Antwort ist ein klares Jein: Man kann zwar keine einzelnen Atome sehen (schon deshalb nicht, weil es nichts gibt, um sie im Mikroskop festzuhalten), aber man kann manchmal etwas sehen, das auf einzelne Atome zurückgeht: z. B. dunkle Flecken, die von Uranatomen verursacht werden, welche auf einer sehr dünnen Kohlefolie liegen. Es ist auch schon möglich, schwere Atome in besonderen Molekülen mit der korrekten Geometrie abzubilden: Z. B. Quecksilberatome in einer metallorganischen Verbindung. Hat man aber einen Kristall als Präparat, dann sind alle Atome in einem regelmäßigen, dreidimensionalen Gitter angeordnet – und dieses Kristallgitter kann man unter günstigen Umständen direkt abbilden.

Was braucht man grundsätzlich, um Atome sehen zu können? Zunächst einmal eine Strahlung mit einer genügend kleinen Wellenlänge. Denn ein optischer Fundamentalsatz besagt, daß man nur dann zwei dicht benachbarte Objekte getrennt abbilden kann, wenn ihr Abstand größer ist als die Wellenlänge der zur Beobachtung herangezogenen Strahlung. Sichtbares Licht mit einer Wellenlänge von 500 nm ist also eine viel zu grobe Sonde, um in atomaren Dimensionen von der Größenordnung 0,2 nm etwas erreichen zu können.

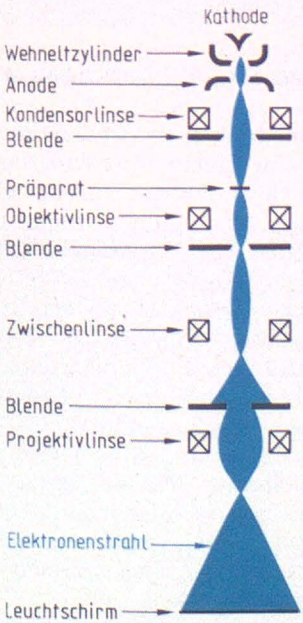


Bild 1. Prinzipieller Aufbau und Strahlengang eines Elektronenmikroskopes

Eine Strahlung, die in Frage kommt, sind Elektronenstrahlen. Elektronenstrahlen haben ausgeprägte Welleneigenschaften; die Wellenlänge ist um so kleiner, je höher die Geschwindigkeit der Elektronen ist. Schnelle Elektronen sind nun einfach herzustellen: das Prinzip ist von jeder Fernsehbildröhre her geläufig. Weiterhin kann man Elektronenstrahlen mit elektrischen oder magnetischen Feldern ablenken; dies ermöglicht den Bau von elektronenoptischen Linsen. Bei einer Beschleunigungsspannung von 100 kV beträgt die Wellenlänge des Elektronenstrahles 0,0037 nm; dem Bau eines hochauflösenden Elektronenmikroskopes steht somit prinzipiell nichts im Wege.

Das Elektronenmikroskop und sein Aufbau

Bild 1 zeigt den schematischen Aufbau eines Elektronenmikroskopes. Erkennbar ist der Strahlkopf (Elektronenstrahlerzeugung), das Kondensorsystem (Fokussierung auf das Präparat), das Präparat, die abbildenden „Linsen" und schließlich ein Leuchtschirm. Die ganze Anordnung steht im Vakuum.

Die „Linsen" sind nichts anderes als Spulen mit einem speziell geformten Eisenkern. Das Magnetfeld dieser Spulen wirkt auf einen Elektronenstrahl wie eine gläserne Sammellinse auf Licht. Es ist eine recht schlechte Sammellinse, denn magnetische Linsen haben alle Linsenfehler, die auch bei optischen Linsen zu finden sind; als Stichworte seien angeführt: Astigmatismus, chromatische und sphärische Aberration.

Während man bei Glaslinsen diese Linsenfehler korrigieren kann, ist dies für magnetische Linsen prinzipiell nicht möglich – man muß mit ihren Fehlern leben. Dies führt zu einer Reihe von Forderungen an die technische Qualität eines Elektronenmikroskopes. Zum Beispiel muß die Hochspannung (typischerweise 100...200 kV) extrem stabil sein ($\approx 10^{-6}$), ähnliches gilt für die Linsenströme. Trotzdem ist die günstigste Auflösung nicht viel besser als etwa 0,1 nm – eine Zahl, viel größer als die Wellenlänge des Elektronenstrahls.

Das Elektronenmikroskop und seine elektrische Analogie

Um verstehen zu können, wie das Bild eines Kristallgitters (oder eines biologischen Moleküls) entsteht, ist es zweckmäßig, zwei Bereiche getrennt zu betrachten:

1) Die Wechselwirkung des Elektronenstrahles mit dem Präparat, und
2) die Übertragungseigenschaften des elektronenoptischen Systems.

Normalerweise geschieht dies in der mathematischen Sprache des Optikers und bleibt dementsprechend völlig unverständlich für den Nicht-Fachmann. Deshalb soll hier der Versuch gemacht werden, die Bildentstehung im Elektronenmikroskop durch einfache elektrotechnische Begriffe zu beschreiben. Natürlich dürfen die Analogien nicht zu wörtlich genommen werden; auch kann nicht auf jede Feinheit eingegangen werden.

Betrachten wir nochmals *Bild 1*. Wir beschreiben das Elektronenmikroskop nun folgendermaßen:
Elektronenstrahlerzeugung und Fokussierung ≙ Hf-Sender mit Richtantenne;
Präparat ≙ Modulator der Hf;

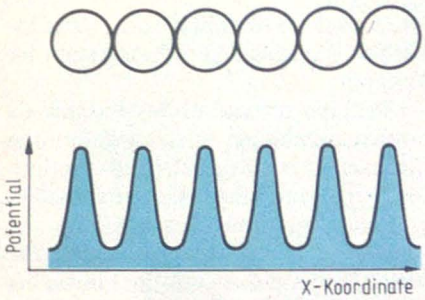


Bild 2. Eine Atomkette und ihr (vereinfachtes) Streupotential für Elektronen

Objektivlinse ≙ Tuner, Demodulator und Vorverstärker;
restliche Linsen ≙ Endverstärker;
Leuchtschirm ≙ Ausgangswandler (z. B. Lautsprecher).

Wir wollen schwache Signale sehr hoch verstärken, brauchen also ein hochwertiges System: einen frequenzkonstanten Sender (≙ konstante Wellenlänge der Elektronen ≙ konstante Hochspannung), einen gut fokussierten, kohärenten Richtstrahl (≙ gute Kondensoroptik) und eine gute Abstimmung des Empfängers (≙ Linsenfokussierung; konstante Stromversorgung). Die erste Verstärkerstufe (≙ Objektivlinse) ist natürlich die wichtigste; was sie nicht überträgt, geht verloren, und was sie an zusätzlichen Signalen produziert (≙ Rauschen), wird am Ausgang das eigentliche Signal stören.

Wechselwirkung zwischen Präparat und Richtstrahl

Der Anschaulichkeit halber nehmen wir als Präparat eine dünne Kristallscheibe, so dünn, daß sie nur eine Atomlage umfaßt. Die Annahme, daß nur zwischen den Atomen ein Durchkommen für die Elektronen möglich ist, ist leider falsch. Schnelle Elektronen können ein Atom mühelos durchdringen. Das elektrische Feld (das „Potential") der Atome ändert dabei die Phase der Elektronenwellen und lenkt gleichzeitig damit die Elektronen ein klein wenig ab.

Unsere Senderwelle wird also phasenmoduliert und der gerichtete Strahl wird etwas diffuser. Man braucht nun eine Beziehung zwischen der Objektstruktur und der entstandenen Phasenmodulation. Da man diese Beziehung nicht für alle denkbaren Objekte angeben kann, bedient man sich eines Tricks, der in der Elektrotechnik wohlbekannt ist: Man beschreibt das Objekt nicht in dem für uns am leichtesten zugänglichen „realen" Raum (in der Elektrotechnik entspräche dem ein Amplituden/Zeit-Diagramm), sondern man gibt das Objektspektrum (entsprechend dem Frequenzspektrum) an.

Was ist nun ein Objektspektrum? Dazu betrachten wir ein einfaches eindimensionales Objekt, z. B. eine Kette von Atomen *(Bild 2a)*. Für die Elektronen sind die Atome keine harten Kugeln, sondern geballte elektrische Felder, in denen sie abgelenkt oder gestreut werden. Das Streuvermögen eines Atoms heißt Streupotential und läßt sich in einer Kurve darstellen, die in *Bild 2b* gezeigt ist. Das „Spektrum" dieser Kurve läßt sich nun genauso ermitteln wie das eines akustischen Wellenzugs.

Zur Veranschaulichung betrachten wir eine einfache Analogie: Ein Rechtecksignal in der Elektroakustik einerseits und einen rechteckigen Potentialverlauf, der unser Objekt darstellt, andererseits *(Bild 3)*. Das Spektrum des Rechtecksignals ist bekannt; es besteht aus einer Grundfrequenz und einer Reihe von Harmonischen. Genau dasselbe Spektrum hat das Rechteck-Potential in einem Amplituden/Ortsfrequenz-Diagramm. Ähnlich wie das akustische Spektrum angibt, welche Frequenz mit welcher Stärke im Signal vorkommt, gibt das Ortsfrequenzspektrum an, welche Ortsfrequenzen (oder anschaulicher: welche Abstände zwischen Objektpunkten) mit welcher Häufigkeit auftreten. Hohe Ortsfrequenzen entsprechen dabei kleinen Abständen. Jedes Objekt kann durch ein eigenes Ortsfrequenzspektrum beschrieben werden.

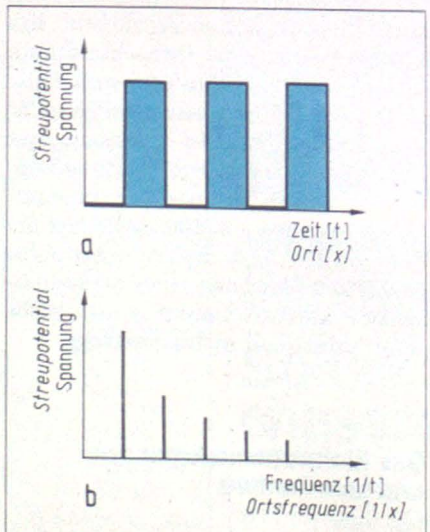


Bild 3. Ein Rechtecksignal und sein Spektrum, aufgefaßt entweder als Spannungsverlauf in der Zeit oder als Streupotential im Ort (kursive Beschriftung)

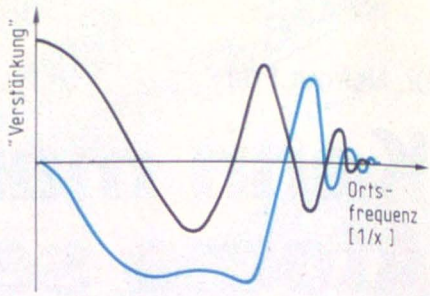


Bild 4. Kontrast-Transfer-Funktionen eines modernen Elektronenmikroskopes. Die zwei gezeigten Kurven entsprechen zwei verschiedenen Fokus-Einstellungen. Der Übergang von positiven zu negativen Werten bedeutet einen Übergang von „schwarz" zu „weiß" im realen Bild

Damit können wir nun die Modulation unserer Trägerwelle verstehen: Zu jeder im Präparat vorhandenen Ortsfrequenz gehört eine bestimmte Phasenmodulation und damit verbunden eine bestimmte Ablenkung der Senderwelle.

Wie das Signal übertragen wird

Die modulierte Hf trifft auf den Empfänger, im Elektronenmikroskop also auf die Objektivlinse. Zunächst einmal muß die Abstimmung stimmen. Die Linse muß auf das Objekt fokussiert sein. Am Ausgang der Objektivlinse soll ein verstärktes („vergrößertes") und demoduliertes Signal vorliegen, d. h. die Phasenmodulation soll in eine Amplitudenmodulation übergeführt werden. Die Demodulation erfolgt zwangsweise durch die Interferenz der verschiedenen Wellen nach dem Durchgang durch die Linse. Bei 0° Phasenverschiebung verstärken sich die Wellen, bei 180° Phasenverschiebung löschen sie sich aus.

Der entscheidende Punkt ist der Frequenzgang des Vorverstärkers bezüglich der im Signal enthaltenen Ortsfrequenzen. Ein guter Verstärker sollte einen geraden Frequenzgang haben, also

Dr. rer. nat. Helmut Föll (32) studierte Physik an der Universität Stuttgart. Anschließend war er in den USA an der Cornell-Universität und im IBM-Forschungszentrum tätig. Seit 1980 beschäftigt er sich bei Siemens in München mit Materialfragen im Zusammenhang mit Silizium für Solarzellen.

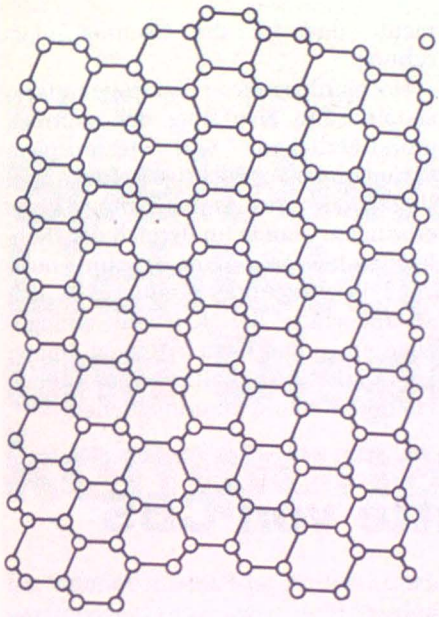
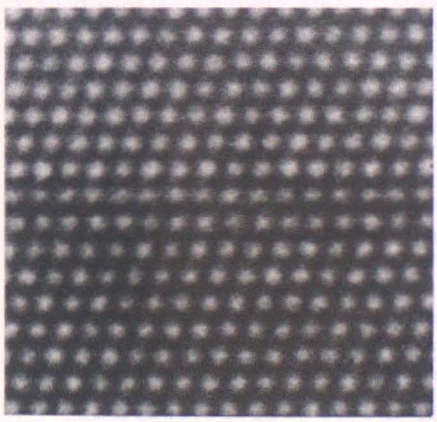
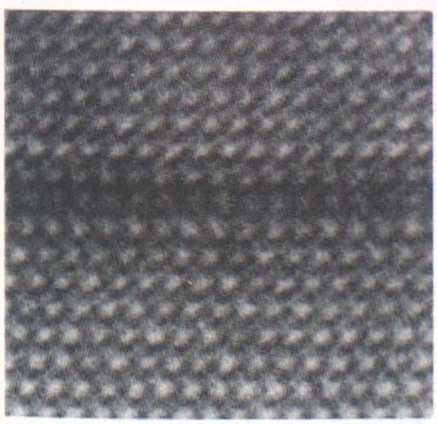


Bild 5. a) Modellbild eines Si-Kristallgitters. Ein sogenannter Stapelfehler ist in der Bildmitte erkennbar



b) Elektronenmikroskopisches Bild eines Si-Kristalls mit Stapelfehler für Präparate verschiedener Dicke. Jeder weiße Punkt entspricht in erster Näherung einem Atompaar des Modellkristalls



c) Bild eines perfekten Si-Kristalls. Bedingt durch eine Dickenänderung des Kristalls sind die Punktmuster im oberen und unteren Teil des Bildes verschieden.

alle Phasenverschiebungen unverfälscht übertragen. Das kann die Objektivlinse nun leider nicht. Auf Grund der Linsenfehler entstehen sogar noch zusätzliche Phasenverschiebungen, die außerdem noch sehr stark von der Abstimmung (d. h. von der Fokussierung) abhängen. So ist der Frequenzgang außerordentlich nichtlinear: *Bild 4* zeigt ein Beispiel. Dieser Frequenzgang (oder wie es in der Physik heißt: die Kontrast-Transfer-Funktion) ist von überragender Bedeutung in der Hochauflösungsoptik.

Einen Stereoverstärker mit einem derartigen Frequenzgang würde man sicher zurückweisen, aber in der Elektronenmikroskopie gibt es nichts Besseres. Und es läßt sich damit leben – man darf nur keine allzu hohen Ansprüche haben. Bild 4 zeigt aber auch, daß es eine ganz bestimmte Abstimmung gibt, bei der der Frequenzgang in einem größeren Bereich halbwegs linear ist. Wenn man sich auf diesen Bereich beschränkt, kann man Bilder erhalten, die ein recht getreues Abbild des Objekts sind. Gefährlich sind die Bereiche bei hohen Ortsfrequenzen, in denen Oszillationen auftreten: Dort werden bestimmte Objektdetails vollständig abgebildet, andere überhaupt nicht – das Abbild hat mit der Wirklichkeit nicht mehr viel zu tun.

Das Problem der dreidimensionalen Objekte

Eine weitere Komplikation muß noch besprochen werden, bevor wir uns einigen Beispielen zuwenden. Bisher wurden nur ein- und zweidimensionale Objekte diskutiert, während wirkliche Präparate ja dreidimensionale Körper sind. Dünn müssen sie immer sein, aber eine Dicke von einigen zehn Atomlagen ist schon akzeptabel.

In diesem Fall wird das dreidimensionale Objekt zunächst auf ein zweidimensionales reduziert, indem man sich alle Atome entlang des Elektronenstrahls auf eine Ebene projiziert denkt. Dabei wird natürlich nur dann noch etwas Vernünftiges übrigbleiben, wenn alle Atome genau untereinander liegen, der Elektronenstrahl also exakt parallel zu einer Kristallgitterkante einfällt. Man braucht also einen hochpräzisen Kippmechanismus, mit dem man das Präparat orientieren kann.

Da der Elektronenstrahl jetzt durch viele Atome läuft, wird er stärker moduliert werden. Die Modulation kann sogar stärker werden als die Trägerwelle; es ist, als ob die Amplitude eines Hf-Signals größer ist als die der Trägerwelle. Bei unserer Phasenmodulation treten insbesondere Phasenänderungen von mehr als 360° auf. 380° Phasenmodulation ist aber nicht unterscheidbar von einer Phasenmodulation von 20°. Die Konsequenz ist, daß mit steigender Präparatdicke sich das Bild des

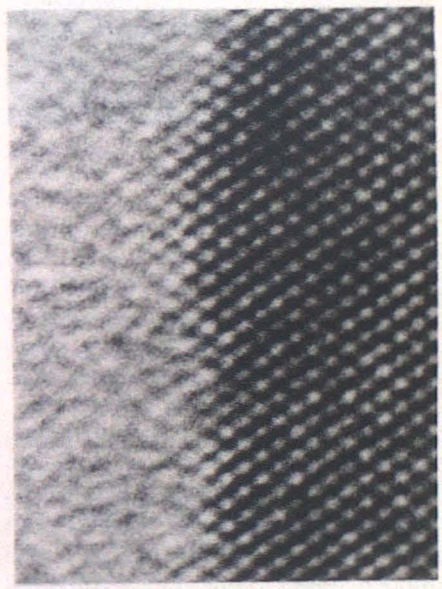
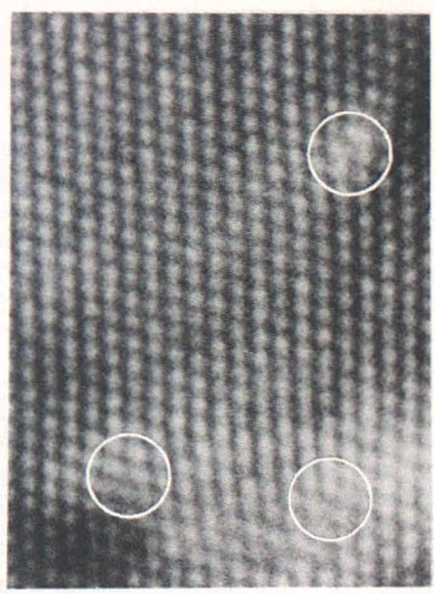


Bild 6. a) Übergang von amorphem zu kristallinem Silizium, erzeugt durch Ionenimplantation. Das amorphe Si (linker Teil) sollte strukturlos sein („weißes Rauschen"); die Kontrast-Transfer-Funktion hat jedoch einige Ortsfrequenzen bevorzugt durchgelassen: Dies erzeugt die Körnigkeit des Bildes



b) Versetzungen in ionenimplantiertem Si. Drei Versetzungen sind als endende vertikale Punkt-Linien zu erkennen

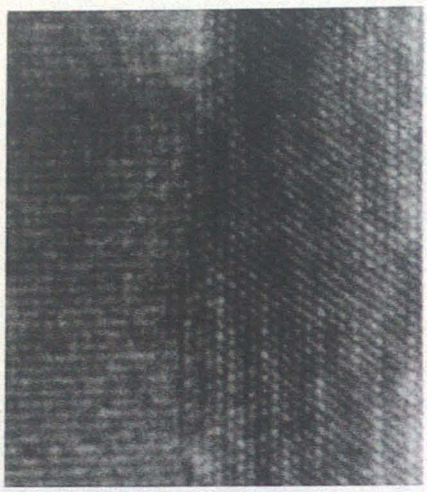


Bild 7. Die Grenzfläche zwischen Pd_2Si (oberer Teil) und Si

Objektes ändert und daß ein zu einer bestimmten Dicke gehörendes Bild bei größeren Dicken regelmäßig wiederkehrt. Dieser Dickeneffekt ist die Ursache der verschiedenen Bilder desselben Präparates wie in *Bild 5* gezeigt: Zwischen 5b und 5c hat sich die Dicke des Präparates geändert. Bild 5a zeigt nun zum Vergleich das schematische Modell dieser Probe: Einen Siliziumkristall.

Man könnte nun fast meinen, hochauflösende Abbildungen im Elektronenmikroskop seien ein hoffnungsloser Fall. Daß dem nicht so ist, soll nun an einigen wenigen Beispielen aus der aktuellen Siliziumforschung gezeigt werden.

Anwendungsbeispiele für Hochauflösung

Bei der Ionenimplantation von Si-Bauelementen werden Fremdatome gezielt in den Si-Kristall hineingeschossen. Dabei wird das Kristallgitter schwer geschädigt, die obere Schicht des Kristalles wird meistens sogar amorph. Von grundsätzlichem Interesse ist dabei die Struktur der Grenzfläche zwischen kristallinem und amorphem Bereich und die Art der durch die Bestrahlung verursachten Kristallgitterdefekte; Fragen, die nur mit hochauflösender Elektronenmikroskopie zu beantworten sind.

Bild 6 zeigt Beispiele: In *Bild 6a* ist die Grenzfläche amorph – kristallin zu erkennen und in *Bild 6b* einige der entstandenen Gitterdefekte. Aus diesen Bildern läßt sich sofort entnehmen, daß der Übergang amorph – kristallin sehr abrupt und nicht sehr rauh ist.

Ein letztes Beispiel aus einem sehr aktuellen Forschungsgebiet zeigt *Bild 7*. Gezeigt ist ein sogenannter Silizidkontakt für die Höchstintegration. Der Übergang von Siliziumkristall zum Pd_2Si-Silizid-Kristall ist sichtbar. An diesem Übergang stoßen zwei verschiedene Kristallgitter zusammen und ein Verständnis der Struktur der dabei entstandenen Grenzfläche ist überaus wichtig für künftige Bauelemente und für die Grundlagenforschung.

Hochauflösende Elektronenmikroskopie kann also trotz der enormen grundsätzlichen und technischen Schwierigkeiten wichtige Beiträge zum Verständnis des Aufbaus der Materie erbringen. Gerade im Bereich der Halbleitertechnologie wird sie uns noch viele faszinierende Einblicke in den Mikrokosmos der Kristalle ermöglichen und somit dazu beitragen, immer kompliziertere Schaltungen auf immer kleinerem Raum zu ermöglichen.

Die CX-Schallplatte von CBS

CBS hat ein neues Compandersystem für Schallplatten mit der Bezeichnung CX (Compatible Expansion) entwickelt, und es liegt eine erste Demonstrationsaufnahme („Sanctuary", Epic, NFE 37314) vor. CX unterscheidet sich von den bisherigen Compandersystemen dadurch, daß man bei der Wiedergabe wahlweise mit einem zusätzlichen Decoder die Qualitätsvorteile ausnutzen oder aber ohne Decoder die Platten im normalen Weg abspielen kann. CBS hofft, daß sich das Verfahren wegen dieses Vorteils allgemein bei den Analogplatten als Standard durchsetzen läßt.

Nutzt man den CX-Vorteil mit einem relativ billigen Zusatz, der im einfachsten Fall ein einziges IC sein kann, aus, dann erhält man eine von 65 auf 85 dB erweiterte Dynamik und kommt damit schon in die Nähe des Umfangs, der mit den kommenden Digitalschallplatten erreicht werden soll. CBS vergibt Lizenzen an interessierte Gerätefirmen gebührenfrei. Ob das Experiment gelingt, hängt in hohem Maß von der Bereitschaft der Plattenfirmen ab, das System auch bei der Produktion anzuwenden. CX eignet sich nicht für Magnetband-Kassettendecks oder für Videorecorder-Tonteile.

CBS will schrittweise die gesamte eigene Plattenproduktion auf CX umstellen und rechnet kaum mit Preiserhöhungen. Das CX-System arbeitet, wie zum Beispiel Dbx, mit einem Kompressions/Expansionsverhältnis von 2 : 1. Es wirkt im Gegensatz zu Dbx aber nicht über den gesamten Dynamikbereich. Signale, die um 40 dB oder mehr unterhalb des Referenzspiegels liegen, passieren die Aufnahme- und Wiedergabekette unbeeinflußt. Wie bei Dolby spricht der Decoder auf den gesamten absoluten Signalpegel an. Eine Pegel-Fehlanpassung von max. 6 dB hat jedoch keine hörbaren Folgen.

Bei der Aufnahmecodierung wird, im Gegensatz zu Dolby und Dbx, die Preemphasis nicht mit herangezogen. Die gesamte Frequenzbalance bei CX-Platten entspricht derjenigen von normalen Platten. Der Pumpeffekt, den alle Compandersysteme mehr oder weniger aufweisen, ist soweit minimiert worden, daß er nicht mehr hörbar ist. Die ersten CX-Decoder-Zusatzgeräte werden mitsamt den ersten passenden CBS-Schallplatten in den USA im Herbst dieses Jahres auf dem Markt erscheinen. Au.

Berichtigungen

Diplom-Mathematiker Werner Frangen, Autor verschiedener Beiträge auf den ehemaligen Mikrocomputer-Seiten der FUNKSCHAU, teilt uns einige Korrekturen zu von ihm veröffentlichten Beiträgen mit, die sich als Satzfehler eingeschlichen haben. Da sich diese Korrekturen teilweise auf Hefte des vergangenen Jahrgangs beziehen, wollen wir davon absehen, sie hier vollständig abzudrucken. Für interessierte Leser stellen wir eine Fotokopie der Korrekturen auf Anforderung gern kostenfrei zur Verfügung.

Es handelt sich um die nachfolgenden Beiträge:

Ein Stack für komplexe Zahlen, FUNKSCHAU 6/81, Seite 89.

Prüfen Sie Ihren HP-Rechner, FUNKSCHAU 9/80, Seite 67.

Allround-Programm für die Basisumwandlung, FUNKSCHAU-Sonderheft 31 (1980), Seite 7.

Dr. B. Hill, K. P. Schmidt

Speichernde Lichtsteuer- und Display-komponenten

Es werden neuartige zeilen- und matrizenförmige Lichtsteuerkomponenten aus magneto-optischem Eisengranat beschrieben, die in integrierter Dünnfilmtechnik aufgebaut sind. Die zeilenförmigen Komponenten können als nichtmechanische Mustergeneratoren in optischen Zeilendruckern verwendet werden, wobei in einem modulartigen Aufbau hohe Auflösung erreicht wird. Die zweidimensionalen Komponenten bilden die Grundlage einer neuen Displaytechnik für Datensichtgeräte, wobei die Funktionen Bildspeicherung und Display in einer Komponente vereinigt werden.

Ein wesentliches Kennzeichen der neuen Technik ist die Fähigkeit, jeden Informationszustand speichern zu können. Mit Hilfe von kurzen magnetischen und elektrischen Impulsen wird ein Lichtpunktmuster erzeugt. Es bleibt dann ohne Strom- oder Energiezufuhr solange gespeichert, bis mit erneuten Impulsen ein neues Muster eingeschrieben wird. Zur Steuerung werden nur geringe elektrische Spannungen benötigt. Dies ermöglicht eine direkte Verbindung der Lichtsteuertechnik mit der integrierten Halbleitertechnik. Hergestellt werden die magneto-optischen Komponenten mit einer für die Massenfabrikation gut geeigneten Dünnfilm-Maskentechnologie, wie sie in der Halbleitertechnik bereits benutzt wird.

Prinzip der magneto-optischen Lichtmodulation

Der wesentliche Teil eines magneto-optischen Lichtmodulationsbausteins ist eine nur etwa 5 µm dünne magnetische Schicht aus Eisengranat, die auf einem einkristallinen Substrat aus Gadolinium-Gallium-Granat hergestellt wird.

Die Eisengranatschicht wird durch einen Ätzprozeß in einzelne „Inseln" aufgelöst, die eine typische Größe von 50 µm × 50 µm bis 100 µm × 100 µm besitzen (*Bild 1*). Jede Insel formt ein Schaltelement für Licht, das senkrecht durch die „Insel" hindurchläuft. Die Beeinflussung des Lichtes durch die Eisengranatschicht kommt durch die im Material vorhandene Magnetisierung und einen damit verbundenen Faraday-Effekt zustande.

Wegen der besonderen magnetischen Eigenschaften des Materials kann die Magnetisierung – wie bei einem Kernspeicherelement – nur zwei Richtungen einnehmen: entweder parallel oder antiparallel zur Schichtnormalen. Beide Richtungen stehen senkrecht zur Schicht und bilden die beiden Schaltzustände eines Elements. Dabei ist jeder der beiden Schaltzustände, wenn er einmal eingestellt ist, ohne äußere Beeinflussung stabil: Er bleibt gespeichert.

Der optische Schalteffekt: eine Faraday-Drehung

Die Schwingungsebene von linear polarisiertem Licht, das durch ein Schaltelement hindurchläuft, wird nach rechts oder links verdreht – je nachdem, ob die eine oder andere Magnetisierungsrichtung im Material wirksam ist (Bild 1). Diesen Effekt nennt man *Faraday-Drehung*.

Hergestellt wird das linear polarisierte Licht mit einer Polarisationsfolie, wie sie z. B. auch in den bekannten Polarisationsbrillen verwendet wird. Mit Hilfe einer zweiten polarisierenden Folie (die in Blickrichtung hinter der Scheibe mit Schaltelementen angeordnet ist) wird entsprechend das Licht in der einen Schwingungsebene blockiert, während es für die andere mögliche Schwingungsebene die Polarisationsfolie passiert. Wenn man daher entgegen der Lichtausbreitungsrichtung durch die Anordnung hindurchblickt, erscheinen die Schaltele-

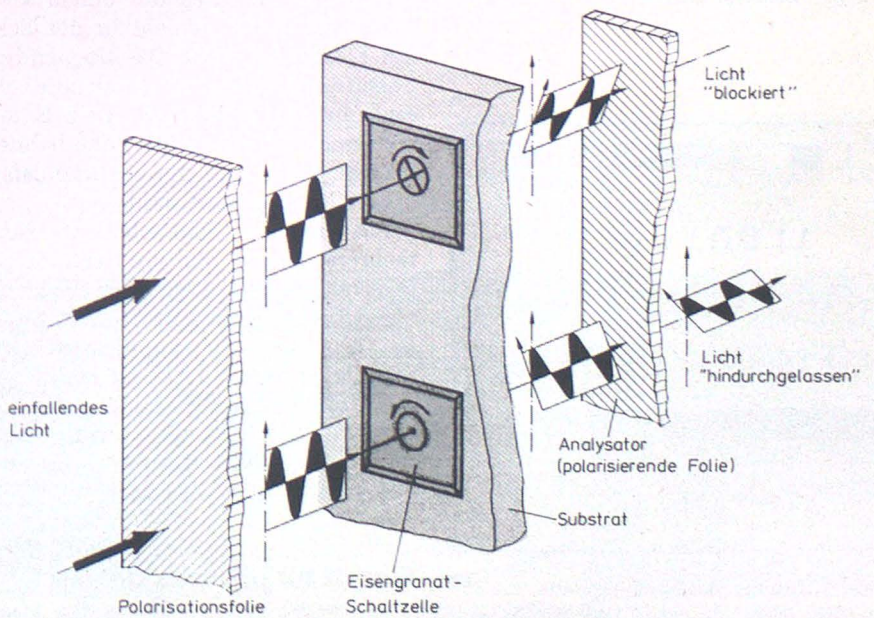


Bild 1. Prinzip der Lichtmodulation mit Eisengranat-Schaltzellen in einer Polarisationsoptik

mente mit verschiedenem Schaltzustand hell oder dunkel.

Wie man die Magnetisierung umschaltet

Zum Schalten der Magnetisierung von einer in die andere Richtung benutzt man einen thermomagnetischen Schalteffekt. Dieser beruht darauf, daß durch einen in der Eisengranatschicht erzeugten kurzen Wärmeimpuls von nur wenigen Mikrosekunden Dauer die Stabilität der Magnetisierung kurzzeitig absinkt. Erwärmt wird dabei auf ca. 150 °C.

Während dieser instabilen Phase erzeugt man mit einer Spule ein zusätzliches Magnetfeld geeigneter Richtung, das auf die Eisengranatschicht einwirkt. Unter der Wirkung dieses „Schalt"-Magnetfeldes springt die interne Magnetisierung im Schaltelement um. Durch Umkehr der Richtung des äußeren Magnetfeldes der Spule kann mit einem erneuten „Heizpuls" das Schaltelement wieder in den ursprünglichen Zustand zurückgeschaltet werden.

Der erforderliche kurze Wärmeimpuls kann z. B. mit einem Laserstrahl erzeugt werden, der auf ein Schaltelement fokussiert wird. *Bild 2* zeigt als Beispiel die Aufnahme einer magneto-optischen Schicht in einer Polarisationsoptik mit einem Muster, das Punkt für Punkt mit einem Laserstrahl eingeschrieben wurde.

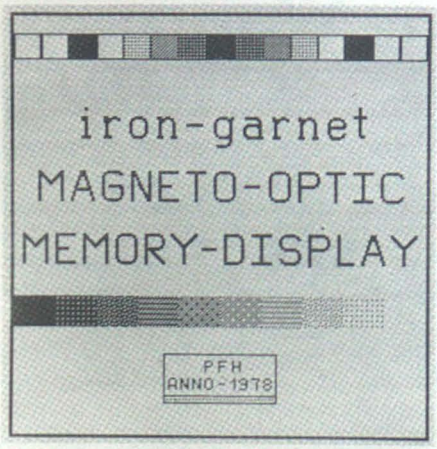


Bild 2. Eisengranat-Speicherplatte mit 256 × 256 „Speicherinseln" der Größe von 70 µm × 70 µm. Punktweise mit einem Laserstrahl eingeschriebenes Bild

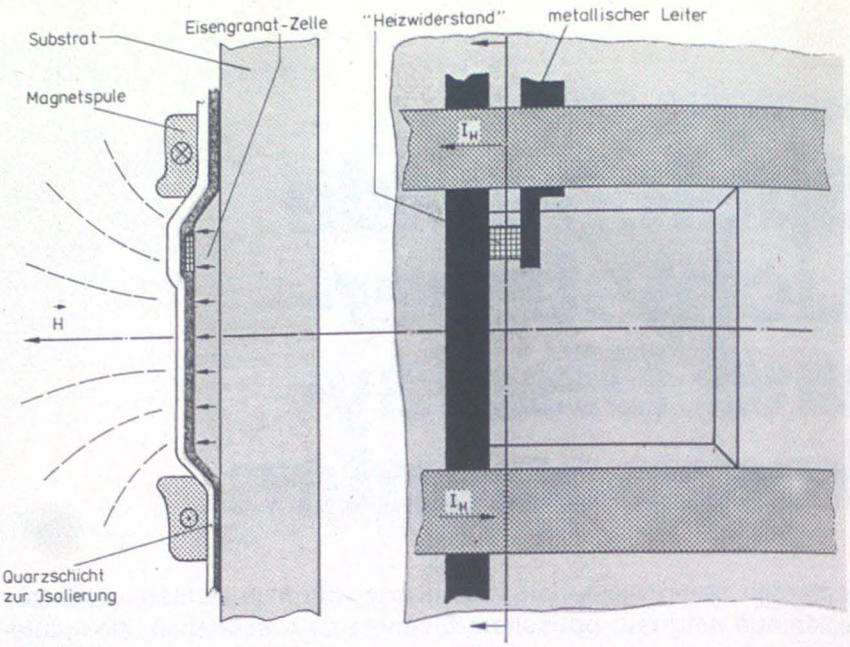


Bild 3. Skizze eines Schaltelements mit „Heizwiderstand"

Aufbau eines magneto-optischen Schaltelements

Wem der Aufwand mit einem Laserstrahl zu hoch ist, kann auch so verfahren: Die zum Schalten notwendigen Wärmeimpulse werden in den einzelnen Schaltelementen mit Hilfe aufgedampfter Widerstandsschichten erzeugt, über die kurze Stromimpulse geführt werden. Die ohmsche Wärme im Widerstand bewirkt dann die notwendige Aufheizung. Zugeführt werden die Stromimpulse über ein Netz aufgedampfter metallischer Leiterbahnen.

Bild 3 zeigt die Skizze eines derartigen Schaltelementes mit einem kleinen Widerstandselement in der Ecke der Eisengranatinsel. Das notwendige Schaltmagnetfeld wird durch eine sehr einfache „Spule" erzeugt, die z. B. nur aus einer Windung der Leiterbahnen besteht und durch die ein impulsförmiger Strom geführt wird.

Ein solches Schaltelement kann mehrere tausend Mal pro Sekunde geschaltet werden, wobei der Schaltzustand jeweils durch die Stromrichtung in der Spule bestimmt wird. Die Schaltenergie ist dabei so klein, daß keine wesentliche Erwärmung des Elements auftritt und die Wärmeenergie durch natürliche Wärmeleitung über das Substrat abgeführt wird.

Einsatz für optische Drucker

Für eine Anwendung der im Philips-Forschungslaboratorium Hamburg entwickelten Techniken in optischen Druckern befinden sich zur Zeit magneto-optische Lichtmodulationszeilen in der Produktentwicklung. Die Lichtmodulationszeilen enthalten 512 Lichtschaltelemente integriert auf einem Substrat, wobei jedes Lichtschaltelement so aufgebaut ist, wie in Bild 3 skizziert.

In *Bild 4* ist ein Ausschnitt aus einer derartigen Komponente zu sehen, die zwei Reihen von Schaltelementen enthält. Jedes Schaltelement besitzt nur eine Abmessung von 65 µm × 70 µm. Im Bild sind deutlich die Heizwiderstände in den Ecken jedes Elementes und die metallischen Leiterbahnen zur Stromzuführung erkennbar. Beiderseits der Reihen von Elementen führen zusätzliche Leiterbahnen vorbei, mit deren Hilfe das Schaltmagnetfeld erzeugt wird.

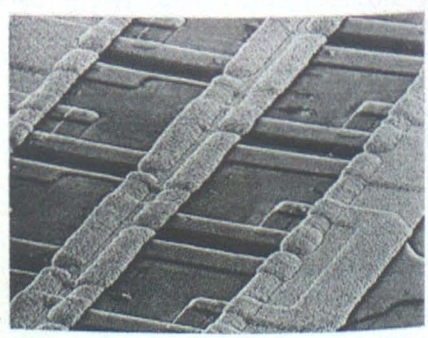


Bild 4. Ausschnitt aus einer magneto-optischen Lichtmodulationszeile mit zwei Reihen von Schaltelementen der Größe 65 µm × 70 µm

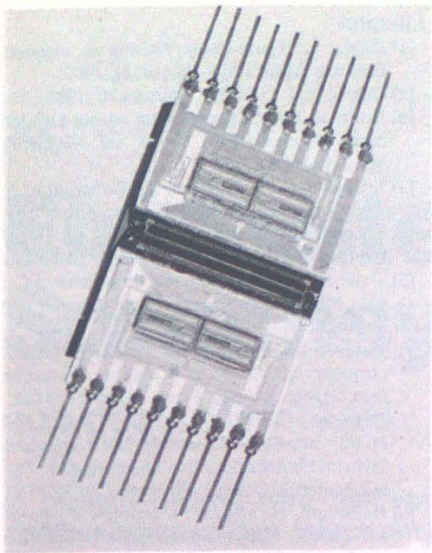


Bild 5. Gesamtansicht einer magneto-optischen Lichtmodulationskomponente mit vier integrierten Halbleiterschaltkreisen beiderseits der magneto-optischen Zeile

Die Leiterbahnen zum Anschluß der Heizelemente und der Spule werden bis zum Rande des Substrates geführt und von dort über eine Bondtechnik an integrierte Halbleiterschaltkreise angeschlossen. Diese Halbleiterschaltkreise sind beiderseits der magneto-optischen Zeile angeordnet und erzeugen für jedes Schaltelement den notwendigen Stromimpuls beim Umschaltvorgang. Eine Gesamtansicht der Komponente zeigt *Bild 5*. Nur noch wenige elektrische Anschlüsse zum Betrieb der integrierten Schaltkreise führen nach außen.

Aufbau eines optischen Druckers

Der prinzipielle Aufbau eines optischen Druckers mit einer magneto-optischen Lichtmodulationskomponente ist in *Bild 6* skizziert. Zur Beleuchtung der Modulationskomponente wird eine streifenförmige Lichtquelle benutzt, deren Licht auf die Zeile von Schaltelementen fokussiert wird. In Transmission entsteht dann eine Zeile von Lichtpunkten, die über ein Objektiv auf ein lichtempfindliches Aufnahmematerial abgebildet wird. Das Aufnahmematerial wird quer zur Modulationszeile mechanisch vorbeigeführt und kann auf diese Weise Zeile für Zeile bei ständig wechselnder Lichtpunktverteilung mit Bildinformation belichtet werden, wobei die Zeileninformation elektronisch der magneto-optischen Komponente zugeführt wird.

Mit dem Labormodell eines derartigen Gerätes („hardcopy"-Gerät) wurde der in Bild 6*b* gezeigte Teil eines Fernsehtestbildes auf einem Polaroid-Film als Aufnahmematerial erzeugt. Wegen der hohen Schaltgeschwindigkeit und der hohen Dichte der Schaltzellen bzw. der Lichtpunkte auf dem Aufnahmematerial können Bilder mit fotografischer Qualität hergestellt werden.

Einen weiteren möglicherweise sehr großen Anwendungsbereich könnten die magneto-optischen Zeilen in Zukunft auch in Verbindung mit der Xerographie zum Drucken von Text- oder Bildinformation auf Normalpapier finden. Heute benutzt man die Xerographie vorwiegend zum Kopieren von Bildvorlagen. Setzt man jedoch anstelle der Bildvorlage eine magneto-optische Zeile in ein xerographisches Kopiergerät ein, dann kann dieses Gerät zum elektronischen Drucker erweitert werden: Ein Gerät, mit dem aus einem Computer, einer Textverarbeitungsanlage oder einer Fernübertragungsleitung heraus Information auf Papier gedruckt werden kann. Der besondere Vorteil dieser Technik bestünde darin, daß eine sehr hohe Schriftqualität – vergleichbar mit der einer Schreibmaschine – erreichbar wäre und das weitgehend geräuschfrei mit bis zu 20 und 30 Textseiten pro Minute.

Eine neue Display-Technik

Die Weiterentwicklung von magneto-optischen Lichtmodulationszeilen zu zweidimensionalen Matrizen führt zu einer neuen Displaytechnik. Der prinzipielle Aufbau einer zweidimensionalen Lichtmodulationsmatrix geht aus *Bild 7* hervor. Die Schaltelemente sind hier mit hakenförmigen Widerstandselementen bedeckt, die an jeweils eine Zeilen- und Spaltenleiter-

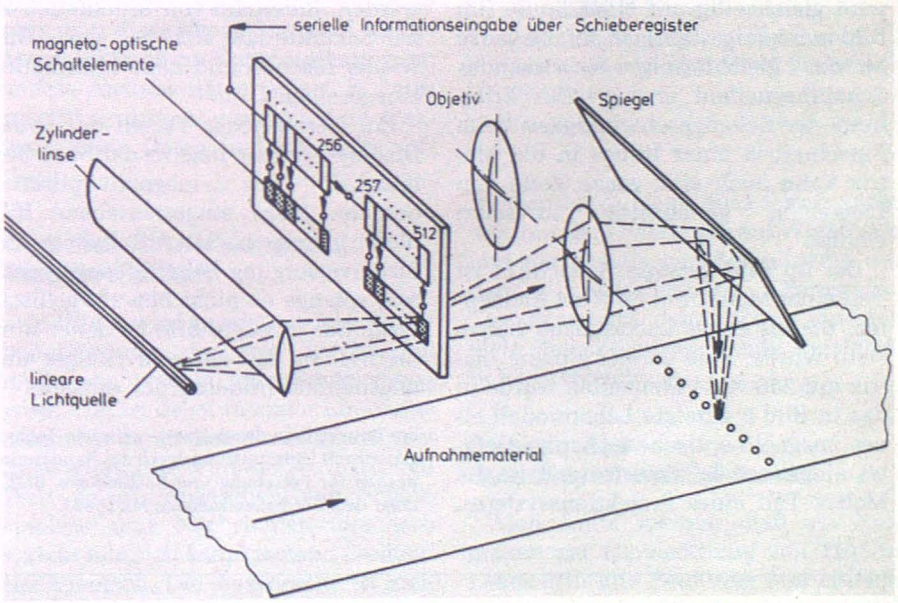


Bild 6a. Prinzipbild eines optischen Druckers mit Eisengranat-Lichtmodulationszeilen und aufgezeichnetem Testmuster (kleinste Linienbreite im Original 125 µm)

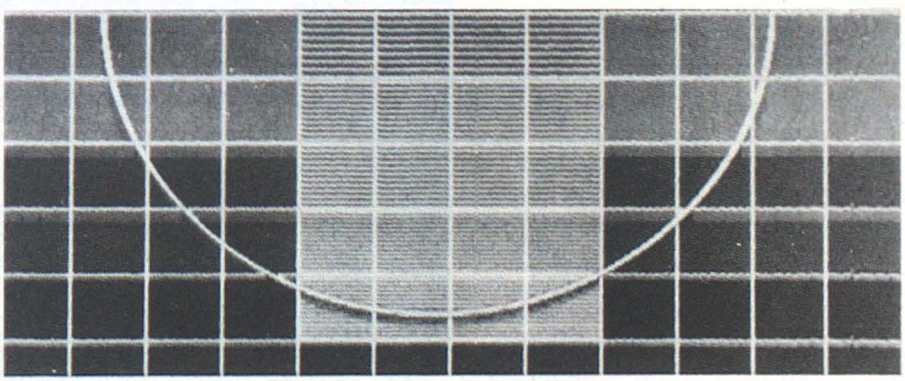


Bild 6b. Fernsehtestbild, erzeugt mit einem optischen Drucker nach Bild 6a

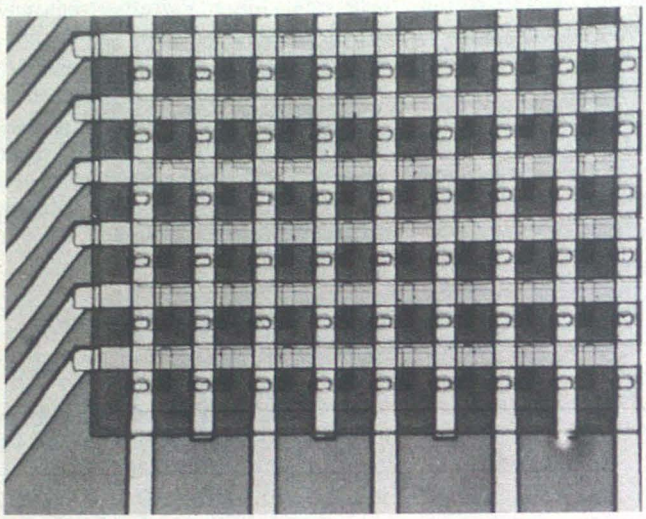


Bild 7. Ausschnitt aus einer Lichtmodulationsmatrix mit 64 × 64 Elementen und x-y-Ansteuerung

bahn angeschlossen sind. Durch Anlegen eines Impulses an eine Zeilen- und Spaltenleiterbahn wird das Element am Kreuzungspunkt geschaltet. Dabei wird gleichzeitig mit einer Spule (im Bild nicht dargestellt) ein auf die ganze Matrix gleichförmig einwirkendes Schaltmagnetfeld erzeugt. Zur Erhöhung der Schaltgeschwindigkeit beim Einschreiben eines Bildes in die Matrix kann auch eine ganze Zeile von Elementen gleichzeitig adressiert werden.

Der im Bild gezeigte Ausschnitt ist Teil einer Matrix mit 64 × 64 Elementen, die als erstes Labormuster hergestellt wurde. Eine bereits größere Matrix mit 256 × 64 Elementen wurde in das in *Bild 8* gezeigte Labormodell eines magneto-optischen Display-Gerätes eingebaut. In diesem Gerät ist die Matrix Teil eines Projektionssystems, durch das das Bild der Matrix (1 cm × 0,75 cm) vergrößert auf den Bildschirm abgebildet wird. Über ein Tastenfeld kann Textinformation eingeschrieben werden. Innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde läßt sich das ganze Bild wieder löschen und neue Information einschreiben.

Ein wesentlicher Vorteil der neuen Display-Technik liegt in der Speicherfähigkeit der magneto-optischen Schicht. Jedes eingeschriebene Bild bleibt auch nach Abschalten der Stromversorgung beliebig lange erhalten, solange es nicht bewußt gelöscht wird. Das erzeugte Bild ist daher flimmerfrei, so daß ein sehr ruhiger und angenehmer Bildeindruck entsteht.

Die Entwicklung der magneto-optischen Technik erfolgte mit Unterstützung durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie, BMFT, unter dem Förderkennzeichen NT 25494.

Literatur

[1] *Meyer, L.*: Curie-Point Writing in Magnetic Films, J. Appl. Phys. 29 (1958), 1003.

[2] *Dillon, jr., J. I.*: J. Phys. Radium 20 (1959), 374.

[3] *Hunt, R. P.*: Magnetooptics, Lasers and Memory-Systems, IEEE Trans. on Magnetics, MAG-5 (1969), 700.

[4] *Krumme, J.-P.; Verweel, J.; Haberkamp, J.; Tolksdorf, W.; Bartels, G.; Espinosa, G.-P.*: Thermomagnetic Recording in Thin Garnet Layers, Appl. Phys. Lett. 20 (1972), 451.

[5] *Tolksdorf, W.*: Growth and Properties of Garnet Films for Storage Application, IEEE Trans. MAG-11 (1975), 1074.

[6] *Buhrer, D. F.*: Faraday Rotation and Dichroism of Bismuth Calcium Vanadium Iron Garnet, J. Appl. Phys. 40 (1969), 4500.

[7] *Krumme J.-P.; Hill, B.; Krüger, J.; Witter, K.*: A Highly Sensitive Reversible and Nonvolatile Hybrid Photoconductive/Magnetooptic Storage Material, J. Appl. Phys. 46 (1975), 2733.

[8] *Heitmann, H.; Hill, B.; Krumme J.-P.; Witter, K.*: MOPS, eine magnetooptische Speicherschicht zur lokalen Informationsspeicherung, Philips techn. Rdsch. 37 (1977), 214.

[9] *Hansen, P.; Heitmann, H.*: Eigenschaften magnetooptischer Materialien für Daten- und Displayanwendungen, Philips, Unsere Forschung in Deutschland Bd. 3 (1980), 210.

[10] *Hill, B.; Schmidt, K.-P.*: Fast Switchable Magnetooptic Memory Display Components, Philips J. of Research 33 (1978), 211.

Stichworte zum Inhalt

magneto-optisches Eisengranat, nichtmechanische Mustergeneratoren, Bildspeicherung, Faraday-Drehung, optische Drucker.

Bild 8. Labormodell eines magneto-optischen Display-Gerätes mit 256 × 64 Bildpunkten
(Alle Bilder: Philips-Forschungslaboratorium Hamburg)

Dipl.-Ing. H. W. Rühl

Ein System zur Sprachsynthese

aus deutschem Text

In diesem Beitrag wird der Vorleseautomat „Syntex" beschrieben, welcher in den letzten Jahren am Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Akustik der Ruhr-Universität (Professor Blauert) in einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG geförderten Projekt entwickelt wurde. Dieser Automat kann beliebigen deutschen Schrifttext, den man ihm über eine Tastatur oder auf andere Weise eingibt, in gut verständlicher Sprache vorlesen.

Im Gegensatz zu handelsüblichen Sprachsynthetisatoren, welche üblicherweise mit codiert gespeicherten Wörtern arbeiten und deshalb nur einen begrenzten Wortschatz haben, führt Syntex die Sprachsynthese auf der Basis von Einzellauten (Phonemen und Allophonen) durch. Diese Syntheseart erfordert Programme, die nicht nur den Schrifttext in eine Folge von Ausspracheanweisungen umwandeln, sondern zusätzlich den Verlauf der Betonung festlegen. Über die hierbei verwendeten Verfahren wird berichtet.

In der Sprachsynthese werden zwei Typen von Geräten unterschieden: Ansageautomaten und Vorleseautomaten. Ansageautomaten haben einen beschränkten Wortschatz und sind von daher z. B. geeignet zur Ansage der Uhrzeit, zur Fehlermeldung in technischen Systemen oder zur Ausgabe der Züge bei Schach-Computern. Bei fast allen Sprachsynthese-Chips, die derzeit angeboten werden, handelt es sich um Ansageautomaten. Vorleseautomaten werden dagegen eingesetzt, wenn ein prinzipiell unbegrenzter Wortschatz ausgegeben werden muß, wie dies z. B. bei Vorlesemaschinen für Blinde oder aber bei Auskunfts-Computern mit dem gespeicherten Wissen einer Bibliothek der Fall ist.

Während die Steuerdaten für Ansagesysteme meist aus natürlicher Sprache gewonnen werden, sind die Steuerdaten für Vorleseautomaten vom akustischen Signal „Sprache" viel weiter entfernt. Nur eine Ansteuerung mit Text (z. B. mit ASCII-Code) ist sinnvoll, weil diese Ebene Standard für die Mensch/Maschine-Kommunikation ist; andere Ansteuerdaten (wie z. B. Lautschrift) sind nicht geeignet, weil praktisch keine Daten in Lautschrift vorliegen.

Oberstes Entwicklungsziel: Verständlichkeit

In *Bild 1* wird gezeigt, welche Verarbeitungsstufen der Text durchlaufen muß, ehe daraus ein Sprachsignal wird. Ziel ist dabei in erster Linie eine möglichst hohe Verständlichkeit; erst in zweiter Linie wird auf Natürlichkeit Wert gelegt. Abgesehen von Schauspielern und Nachrichten-Sprechern spricht nämlich kaum jemand „reines" Hochdeutsch. Die Aussprache ist vielmehr vom landschaftlichen Dialekt beeinflußt, weshalb auch bei Vorleseautomaten ein gewisser „maschineller" Dialekt nicht als störend empfunden wird.

Auf den ersten Blick scheint es, daß für gute Verständlichkeit keine Betonung benötigt wird. Das ist aber nicht der Fall. Mit der Betonung wird die gesamte Information übertragen, die es dem Zuhörer ermöglicht, sich mit dem asynchronen Datenstrom „Sprache" zu synchronisieren. Betonung hilft, das Ende eines Satzes zu verstehen. Sie hilft, die Blumento-Pferde von der Blumentopf-Erde zu unterscheiden. Das Sprachausgabesystem Syntex hat im Augenblick erst den in *Bild 2* gezeigten

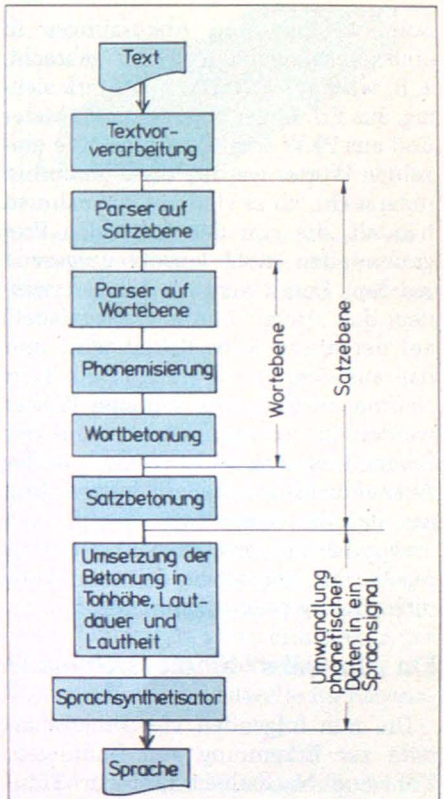


Bild 1. Erzeugung von Sprache aus Text in einem vollständigen Vorleseautomaten

Ausbaustand. Nach Bild 1 entspricht dies nur der Umsetzung auf Wortebene und der akustischen Realisierung der daraus resultierenden Parameter. Trotzdem wird damit schon eine für viele Zwecke ausreichende Verständlichkeit erreicht.

Struktur des Sprachsynthese-Systems

Man sollte meinen, daß ein Programm zur Umwandlung von Text in Lautschrift und Betonung sehr einfach zu schreiben ist: Die Regeln dazu sind ja im Duden abgedruckt. Leider sind die Regeln nur für Menschen gemacht. Sie setzen voraus, daß der Aufbau eines Wortes bekannt ist und sowohl „täuschen" als auch „Häuschen" richtig erkannt werden, noch ehe sie ausgesprochen werden. Eine solche Zerlegung war den Linguisten bisher nur mit großem Rechenaufwand möglich. Die in Bochum entwickelten und hier beschriebenen Verfahren kommen jedoch ohne Großrechner aus; sie laufen auf einem 8-Bit-Einplatinen-Mikrocomputer-System mit dem M 6800.

Nach Bild 2 durchläuft der auszugebende Text zuerst einen Programmteil zur Textvorverarbeitung. Hier werden

Sonderzeichen und Abkürzungen in eine „aussprechbare" Form gebracht; z. B. wird aus 4,70 DM vier Mark siebzig, aus Frl. Meier wird Fräulein Meier und aus PKW wird Pe-Ka-We. Die einzelnen Wörter werden dann daraufhin untersucht, ob es sich um Ausnahmen handelt, die von den folgenden Programmteilen nicht korrekt umgesetzt werden. Damit kann verhindert werden, daß „Hotel" ähnlich wie „Kabel" auf der ersten Silbe betont wird und daß aus dem Herrn Newton ein Herr Neffton wird. Solche seltenen Wörter werden im jetzigen Ausbaustand des Programms noch nicht erkannt. In der Ausnahmenliste stehen gegenwärtig nur häufige Wörter wie „bin", „hat" und „nach", die nach den Aussprache-regeln der deutschen Sprache sonst nicht richtig phonemisiert werden.

Ein „Compiler" für die Grammatik

Die nun folgenden vier Programmteile zur Erkennung von Endungen, Vor- und Nachsilben und zur Trennung von zusammengesetzten Wörtern

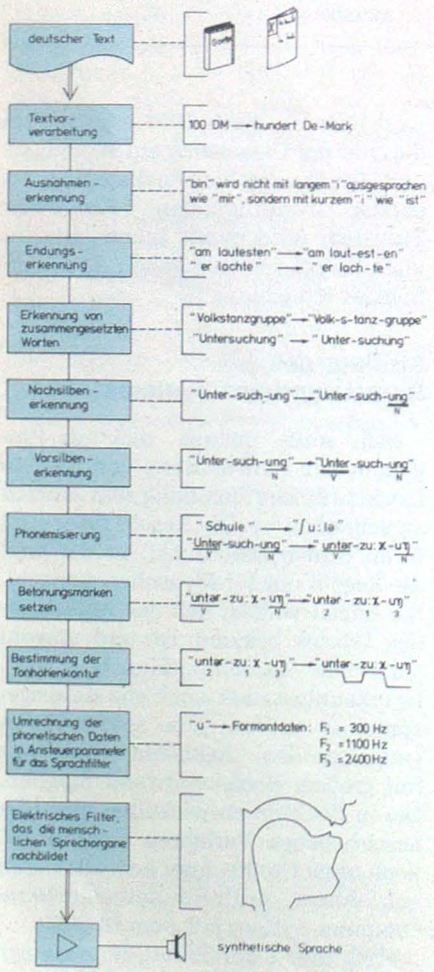


Bild 2. Ablauf der Umsetzung von Text in Sprache im Vorleseautomaten „Syntex"

bilden zusammen einen „Parser" auf Wortebene, d. h. ein Programm zur Bestimmung der grammatikalischen Struktur. (Bei den nicht-natürlichen Sprachen, also z. B. Programmiersprachen, heißen die Parser „Compiler".) Diese Programmteile sind sowohl für die Betonung als auch für die Phonemisierung wichtig: Z. B. wird in „retten" das „e" in der Endung „-en" anders ausgesprochen als in „rett-", und aus dem „Betstuhl" würde in der Aussprache ein „Bettstuhl", wenn nicht die Grenze hinter „Bet-" erkannt würde. Endungen werden zuerst abgetrennt, weil sonst ein viel größerer Aufwand nötig wäre, um z. B. die Nachsilbe „-lich" in „möglich" zu erkennen.

Während Endungs-, Vorsilben- und Nachsilbenerkennung mit Listen arbeiten (die Anzahl der in die Listen aufzunehmenden Silben ist relativ klein), ist dies bei der Erkennung von zusammengesetzten Wörtern nicht möglich. Eine Liste der weit über 10 000 deutschen Wortstämme (Morpheme) würde den Rahmen des Syntex-Systems bei weitem sprengen. Deshalb wird ein Verfahren verwendet, das auf der sogenannten „Klusteranalyse" beruht, die nun kurz erläutert werden soll:

Im Aufbau der deutschen Wörter bestehen Regelmäßigkeiten derart, daß bestimmte Buchstabenkombinationen nur am Anfang, andere nur in der Mitte oder am Ende von Morphemen auftreten; z. B. „FR" wie in „Frage" nur am Anfang und „RST" wie in „Durst" nur am Ende oder in der Mitte. Insgesamt können nur ca. 60 verschiedene Kombinationen am Morphem-Anfang und ca. 130 am Morphem-Ende stehen. Jedes Wort wird nun von der Klusteranalyse in Kluster („Scheibchen") zerlegt. Dabei treten in zusammengesetzten Wörtern an den Morphemgrenzen sehr häufig Kombinationen auf, die nicht in der Liste der gängigen Kluster enthalten sind. Diese werden identifiziert, und innerhalb dieser Kluster wird dann die wahrscheinlichste Stelle für die Morphemgrenze gesucht. Zusammen mit Vorsilben- und Nachsilbenerkennung werden so über 90 % aller Grenzen richtig erkannt.

Vorsilben- und Nachsilbenerkennung werden nicht nur gebraucht, um Phonemisierungsfehler zu vermeiden (unartig → unn-artig und nicht uunartig, Häuschen → Häus-chen und nicht Häu-schen). Sie sind auch sehr wichtig für die Wortbetonung. Weil deutsche Wortstämme vorwiegend auf der ersten Silbe betont werden, müssen die unbetonten Vorsilben erkannt werden, damit sie nicht fälschlich zum Stamm gezogen und dann betont werden. Betonte Nachsilben in Fremdwörtern müssen ebenfalls erkannt werden, damit auch diese richtig betont werden.

Umsetzung von Text in Lautschrift

An den Parser schließt ein Programmteil zur Phonemisierung, d. h. zur Umsetzung von Text in Lautschrift an. Wegen der vorher erfolgten Zerlegung der Wörter ist diese Umsetzung sehr einfach. Sie folgt im wesentlichen den im Duden angegebenen Regeln. Ähnliches gilt auch für die Wortbetonung, die aufgrund der in den Vor- und Nachsilbenlisten enthaltenen Informationen mit wenigen einfachen Regeln eine sehr gute Wortakzentuierung erzeugen kann. Die Wortbetonung wird dann in Tonhöheninformation umgesetzt. Diese wird zusammen mit der Lautschrift an einen kommerziell erhältlichen Sprachsynthetisator (z. Z. Typ Votrax VS6-G2) übergeben, der daraus Sprache erzeugt.

Das Syntex-System im jetzigen Ausbauzustand arbeitet mit mehr als zehnfacher Echtzeit; d. h. das Mikroprozessorsystem wartet über 90 % der Zeit darauf, daß es ein neues Zeichen an den Synthetisator übergeben kann. Diese große Zeitreserve läßt genügend Spielraum für noch nicht verwirklichte Programmteile nach Bild 1. Bezogen auf Zeitungstext wurde eine Fehlerrate von 2,5 % bei der Phonemisierung und von 1,5 % bei der Betonung errechnet; d. h. von 1000 Wörtern werden ca. 25 falsch ausgesprochen und 15 falsch betont.

Trotz der geringen Fehlerrate ist das Programm wegen der Assemblerprogrammierung sehr kurz. Derzeit werden ca. 1 Kbyte RAM und 7 KByte ROM benötigt; von den 7 K ROM entfallen ca. 2 K auf Listen. Der Speicherbedarf wird natürlich größer, wenn weitere Programmteile in das System eingefügt werden. Trotzdem sollte es möglich bleiben, einen kompletten Vorleseautomaten (bestehend aus RS-232-C-Schnittstelle, Mikroprozessorsystem, einem Sprachsynthese-Chip auf Phonembasis und einem Verstärker) auf einer einfachen Europakarte unterzubringen.

Stichworte zum Inhalt
Ansageautomaten, Vorleseautomaten, Sprachverständlichkeit, Sprachsynthese, Phonemisierung, Mikroprozessor M 6800.

Dr. Stefan Maslowski

Laserdioden

Grundbauelemente für die Nachrichtentechnik

Optische Nachrichtenübertragungssysteme heutiger Bauart mit Lichtleitfasern als Übertragungsmedium wurden erstmals bereits im Jahre 1966 konzipiert, obwohl die hierfür eingeplanten Grundkomponenten damals einen Entwicklungsstand weit entfernt von jeder Anwendbarkeit besaßen [1, 2]. Die ursprüngliche Skepsis gegenüber diesen Vorschlägen wich mit fortschreitender Entwicklung der Komponenten und wurde auf Grund der Erfahrungen mit ersten Versuchssystemen von der Erkenntnis abgelöst, daß der Glasfasertechnik für künftige Nachrichtennetze eine ganz entscheidende Bedeutung zukommt. Der Weiterentwicklung der Laserdioden von einem physikalischen Phänomen zu nachrichtentechnischen Sendeelementen für Glasfasersysteme ist in diesem Zusammenhang eine Schlüsselrolle beizumessen.

Ein Laser ist ein optischer Resonator, in den ein aktives Medium eingebracht ist, das bei geeigneter Anregung Licht durch induzierte Emission verstärken kann. Bei genügend hoher Verstärkung werden die Lichtverluste im Resonator kompensiert, und es baut sich eine stehende Lichtwelle auf, von der ein Teil als nutzbare Ausgangsstrahlung ausgekoppelt werden kann.

Bei der Laserdiode wirkt der Rekombinationsbereich einer in Flußrichtung betriebenen Diode als aktives Medium (aktive Zone, *Bild 1*). Die Lichtverstärkung beruht auf der strahlenden Rekombination der in diesen Bereich injizierten Ladungsträger. Der optische Resonator wird von den als Spiegel wirkenden Endflächen des – üblicherweise quaderförmigen – Diodenkristalls gebildet. Damit ergeben sich folgende prinzipielle Eigenschaften der Laserdiode:

- geringe Abmessungen,
- niedrige Ansteuerspannungen,
- direkte Umwandlung von elektrischer in optische Energie,
- Modulierbarkeit der Emission über den Ansteuerstrom.

Erste Dioden dieser Art wurden 1962 mit Galliumarsenid (GaAs) als Halbleitermaterial realisiert. 1966, am Ausgangspunkt der Glasfasertechnik, konnten diese Laserdioden im Dauerstrich nur bei Kühlung auf extrem tiefe Temperaturen oder bei Zimmertemperatur nur im Pulsbetrieb mit extrem niedrigem Tastverhältnis arbeiten, da bei Zimmertemperatur Anregungsstromdichten von rund 100 000 A/cm² für den Lasereinsatz erforderlich waren.

Doppelheterostruktur und Streifenkontakte

Wesentliche Fortschritte wurden durch die Verkleinerung des aktiven Bereichs der Laserdioden auf einen extrem dünnen und schmalen Streifen erzielt (*Bild 2*). Die Einengung in Richtung senkrecht zum PN-Übergang wurde durch die Einführung der sogenannten Doppelheterostruktur ermöglicht; parallel zum PN-Übergang wurde die Kontaktierung des Diodenkristalls und damit auch die Anregung der aktiven Zone auf einen schmalen Streifen beschränkt.

Doppelheterostruktur

Bei einer Laserdiode aus homogenem Halbleitermaterial ist die Dicke der aktiven Zone (Bild 1) durch die Diffusionslänge der Ladungsträger gegeben. Außerhalb der aktiven Zone ist das Material nicht angeregt und wirkt daher für die in der aktiven Zone entstehende Rekombinationsstrahlung absorbierend. Zudem besitzt die sich im optischen Resonator aufbauende stehende Lichtwelle keine Führung in der aktiven Zone. Infolgedessen sind die Verluste für die Lichtwelle im Resonator sehr hoch.

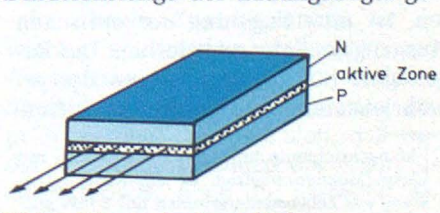


Bild 1. Prinzip der Laserdiode

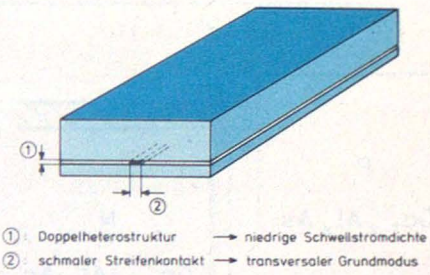


Bild 2. Verkleinerung des aktiven Bereiches bei Laserdioden

Eine drastische Verringerung der Resonatorverluste läßt sich dagegen in Doppelheterostrukturen (DHS) erreichen. Hier wird die aktive Zone zwischen zwei Schichten eines Halbleitermaterials mit größerem Bandabstand und kleinerem Brechungsindex eingebettet (z. B. im Falle des GaAs zwischen Schichten aus Gallium-Aluminiumarsenid GaAlAs). Diese Einbettung bewirkt, daß die stehende Lichtwelle verlustarm in der aktiven Zone geführt wird; denn die Struktur bildet senkrecht zum PN-Übergang einen Lichtwellenleiter (analog zu einer Lichtfaser), und die an die aktive Zone angrenzenden Gebiete sind nicht absorbierend.

Außerdem kann in der Doppelheterostruktur die Dicke der aktiven Zone kleiner gemacht werden (üblicherweise ca. 0,2 µm) als die Diffusionslänge der Ladungsträger (1...2 µm), denn die injizierten Ladungsträger werden durch Potentialbarrieren in ihr eingefangen (*Bild 3*). Bei gleicher Stromdichte ist daher die Ladungsträgerdichte und damit die optische Verstärkung in der Doppelheterostruktur höher als bei der Laserdiode aus homogenem Halbleitermaterial.

Infolge der niedrigen optischen Verluste und hohen Lichtverstärkung betragen die zum Laserbetrieb erforderlichen Anregungsstromdichten (Schwellstromdichten) bei GaAs/GaAlAs-DHS-Laserdioden typischerweise nur rund 2000 A/cm² bei Zimmertemperatur. Mit derartigen Dioden

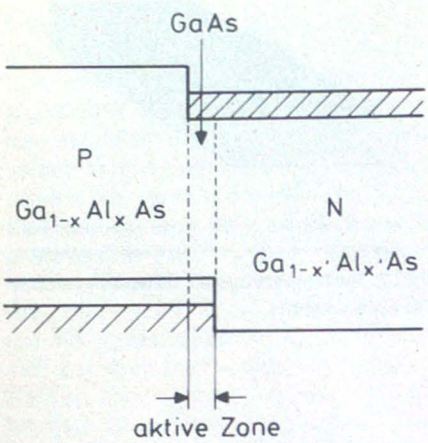


Bild 3. Bändermodell der Doppelheterostruktur

konnte erstmals 1970 Dauerstrichbetrieb bei Zimmertemperatur erreicht werden.

Streifenkontakte

Bei ganzflächiger Kontaktierung emittiert die Laserdiode über die volle Kristallbreite (100...250 µm). Die Beschränkung der Kontaktfläche auf einen schmalen Streifen (10...20 µm) wurde ursprünglich eingeführt, um den erforderlichen Ansteuerstrom zu senken und die Ableitung der Verlustwärme zu verbessern. Außerdem war die kleinere Emissionsfläche dem Kerndurchmesser üblicher Lichtleitfasern besser angepaßt.

Derartige Laserdioden neigten jedoch bei stärkerer Anregung zum Anschwingen höherer transversaler Wellenformen (Moden) des optischen Resonators. Damit waren für die Verwendung als Sendeelemente für Lichtleitfasersysteme störende Effekte verbunden (Nichtlinearitäten in der Ausgangsleistung, dem Ansteuerstrom, der Kennlinie, Änderungen der Abstrahlcharakteristik und damit des Einkoppelwirkungsgrades in die Lichtleitfasern u. a.).

Die Erkenntnis, daß es durch den Übergang zu noch geringeren Streifenbreiten von nur wenigen µm möglich ist, den Betrieb der Laserdioden auf den transversalen Grundmodus zu beschränken, brachte den Durchbruch zu Bauelementen, die als Sender in optischen Nachrichtensystemen voll tauglich sind.

Allerdings stellt die Realisierung dieser extrem schmalen Streifen ein erhebliches technologisches Problem dar. Von den verschiedenen Herstellern von Laserdioden werden hier unterschiedliche Verfahren angewandt, die im technologischen Aufwand stark differieren (z. B. BH-Laser [3], CSP-Laser [4], TJS-Laser [5], ionenimplantierte Laser [6], Oxidstreifenlaser [7] usw.). Dementsprechend sind die erreichten Ergebnisse stark unterschiedlich und bisher nicht in allen Fällen befriedigend.

Von AEG-Telefunken wurde der V-Nut-Laser eingeführt, der bei relativ einfacher Herstellungstechnologie hervorragende Eigenschaften als Sendeelement für Lichtleitfasersysteme aufweist [8] und inzwischen seine Bewährungsprobe in verschiedenen System-Einsätzen bestanden hat. Seine Eigenschaften charakterisieren den heute bei Laserdioden erreichbaren Stand der Technik und sollen daher im folgenden kurz beschrieben werden.

Grundmodus bei Höchstleistung

Der V-Nut-Laser arbeitet bis zur höchstmöglichen Ausgangsleistung – ca. 50 mW im Dauerstrichbetrieb[1]), ca. 500 mW bei Nanosekunden-Impulsen – im transversalen Grundmodus. Dies ist die Basis der folgenden für die Verwendung als Sendeelement in Lichtleitfasersystemen relevanten Eigenschaften:

- hohe Linearität,
- stabile Abstrahlcharakteristik und
- Korrelation der Ausgangsleistung beider Laserspiegel.

Oberhalb des Lasereinsatzes ist die Abhängigkeit der optischen Ausgangsleistung vom Ansteuerstrom so linear, daß diese Laserdioden nicht nur für die Übertragung von Digitalsignalen, sondern auch für analoge Übertragungsverfahren genutzt werden können.

Die von der Ansteuerung unabhängige Abstrahlcharakteristik gewährleistet einen konstanten Einkoppelwirkungsgrad der optischen Ausgangsleistung in die Lichtleitfaser, so daß Signalverzerrungen an dieser Stelle vermieden werden.

Um bei Systemanwendungen unabhängig von Alterungserscheinungen der Laserdioden oder Schwankungen der Umgebungstemperatur einen konstanten Signalpegel aufrechtzuerhalten, ist eine Regelung der optischen Ausgangsleistung erforderlich. Das Regelsignal hierfür kann wegen der gewährleisteten Korrelation der Ausgangsleistungen beider Spiegel der Laserdioden von dem nicht als Signalausgang benutzten Spiegel abgeleitet werden. Dies ist bei der in *Bild 4* gezeigten Sendeeinheit CWL-2500 der Fall: Der Ausgang eines Laserspiegels ist mit hohem Koppelwirkungsgrad (rd. 50 %) in ein Stück Signalfaser eingekoppelt; ein Teil des Laserlichts am anderen Spiegel wird von einer Regelfaser eingefangen und einer PIN-Photodiode zugeführt, die in einen SMA-Stecker eingebaut ist.

[1]) Für nachrichtentechnische Anwendungen mit Quasi-Dauerstrichbetrieb ist die Ausgangsleistung aus Lebensdauergründen mit 5 mW spezifiziert.

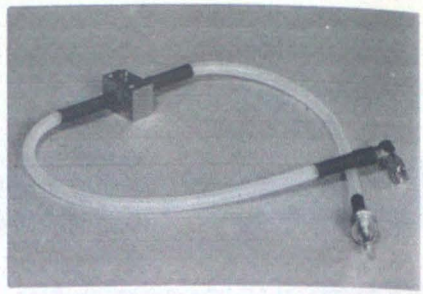


Bild 4. Laserdioden-Sendeeinheit CWL 2500 von AEG-Telefunken (Werkfoto)

Die Emissionswellenlänge des V-Nut-Lasers kann – wie bei allen Laserdioden, die auf der Materialkombination GaAs/GaAlAs basieren – zwischen etwa 780 und 870 nm gewählt werden. Für nachrichtentechnische Anwendungen wird der Bereich 820 bis 860 nm bevorzugt.

Bei dem V-Nut-Laser handelt es sich um einen Laserdiodentyp, bei dem die optische Welle in dem laseraktiven Streifen in der Ebene des PN-Überganges nicht durch eingebaute Brechzahlsprünge geführt wird (gain-guiding). Das hat eine Emission der optischen Leistung in einer Vielzahl von longitudinalen Wellenformen zur Folge. Ein typisches Spektrum besitzt eine Halbwertsbreite von rd. 3 nm (*Bild 5a*). Dagegen ist bei Laserstrukturen mit eingebauter Wellenführung in der Ebene des PN-Überganges (index-guiding) die Ausgangsleistung im wesentlichen in einer longitudinalen Wellenform konzentriert (Bild 5b).

Die spektral schmale Emission der Laserdioden mit eingebauter Wellenführung kann bei sehr breitbandigen Systemen mit Lichtleitfasern von Vorteil sein, da sich die Materialdispersion der Fasern weniger stark auswirkt. Andererseits leiden diese Dioden unter einer extrem starken Rückwirkungsempfindlichkeit: Wenn nur 10^{-6} bis 10^{-7} der emittierten Ausgangsstrahlung durch Reflexion oder Rückstreuung in den optischen Resonator rückgekoppelt werden, wird die Emission des

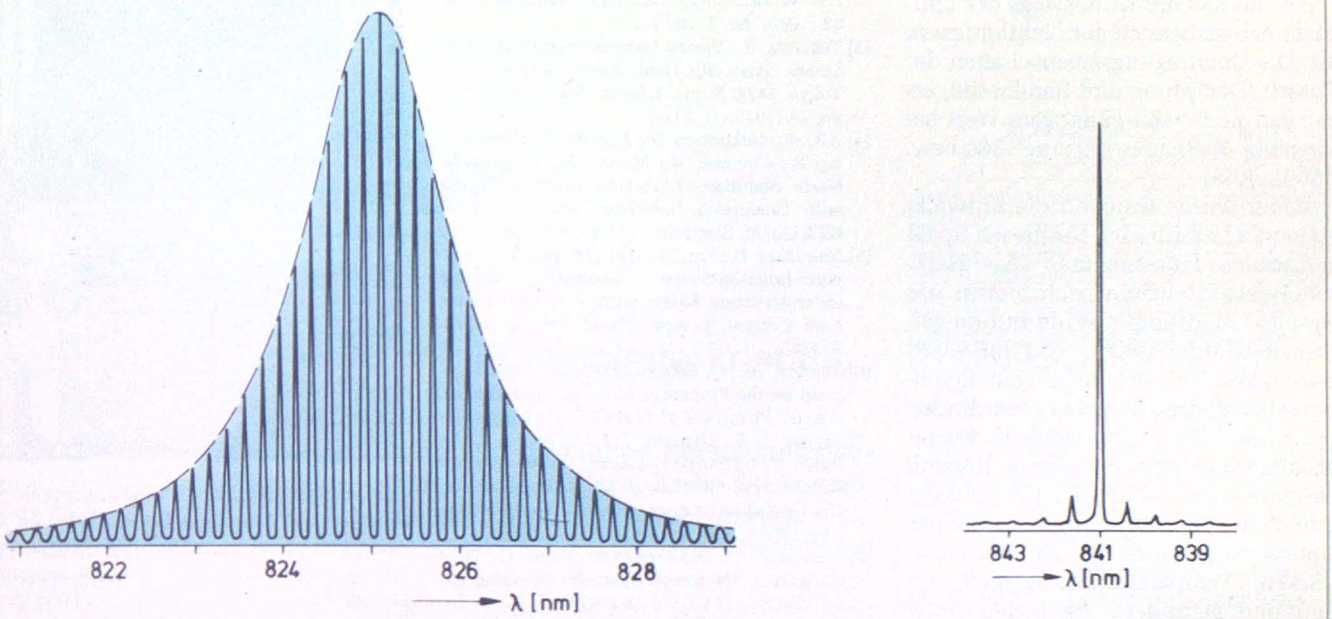


Bild 5. Spektren von Laserdioden; a) Gain-Guiding-Typ (z. B. V-Nut-Laser) b) Index-Guiding-Typ

Lasers hinsichtlich spektraler Reinheit und Rauscharmut empfindlich gestört. Laser ohne eingebaute Wellenführung, wie der V-Nut-Laser, sind in dieser Hinsicht um etwa drei Größenordnungen unempfindlicher.

Wenn die Rückkopplung vernachlässigt werden kann, können beide Diodentypen sehr rauscharme Emission aufweisen; typisch ist bei Gleichstromanregung ein Signal/Rausch-Verhältnis um die 70 dB (Meßfrequenz 50 MHz, Bandbreite 10 MHz).

Zuverlässigkeit erhöht

Für lange Zeit haben Laserdioden Probleme hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit aufgeworfen. Die Gründe dafür liegen in den hohen Stromdichten zum Laserbetrieb (bis zu einigen kA/cm²) und der hohen optischen Leistungsdichte auf den Spiegeln (nahezu 1 MW/cm²). Verbesserte Materialqualität und Schutz der Laserspiegel durch Passivierungsschichten haben jedoch inzwischen zu recht günstigen Zuverlässigkeitsdaten geführt.

Als ein Beispiel für den Stand der Technik sollen die Ergebnisse eines Lebensdauertests geschildert werden, der kürzlich in den Labors von AEG-Telefunken mit routinemäßig hergestellten V-Nut-Laserdioden durchgeführt wurde. Ein GaAs/GaAlAs-Wafer wurde in einzelne Laserchips zerlegt. In einem Vortest erfolgte die Selektion der aufbauwürdigen Expemplare. 15 von ihnen wurden zu fertigen Laserdioden aufgebaut; alle waren für Dauerstrichbetrieb bei Zimmertemperatur geeignet. Sie wurden nun kontinuierlich mit einer konstanten Ausgangsleistung von 5 mW pro Spiegel bei 70 °C Wärmesenkentemperatur betrieben. Als Ausfall galt, wenn die Dioden entweder die 5 mW nicht mehr liefern konnten oder der erforderliche Ansteuerstrom über 300 mA anstieg (von ursprünglich etwa 150 mA). Nach 11 500 Stunden waren noch sechs Dioden in Betrieb, neun waren ausgefallen. Die so ermittelten Lebensdauern lieferten in einer log-Normal-Darstellung in guter Näherung eine Gerade (*Bild 6*). Aus dieser Darstellung kann eine mittlere Lebensdauer von 11 000 Stunden (entsprechend über 1 Million Stunden oder mehr als 100 Jahre bei Zimmertemperatur) abgelesen werden. Die Standardabweichung ergibt sich zu 0,9, einem für heutige Laserdioden bereits sehr guten (wenn auch für manche Systemanwendungen noch unbefriedigenden) Wert. Er besagt, daß bei 100 Dioden der erste Ausfall nach etwa 1050 Stunden (entsprechend 50 000 bis 100 000 Stunden bei Zimmertemperatur) erwartet werden muß.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig anzumerken, daß neben der Ausgangsleistung auch die anderen Spezifikationen der Laserdioden geprüft wurden. Es zeigte sich, daß weder die Linearität, noch die Abstrahlcharakteristik, noch die Stabilität gegen spontane Pulsationen, noch das Spektrum oder das Rauschverhalten sich während der Lebensdauer in einem nennenswerten Maße änderten.

Einsatzbereit

Die Laserdioden auf der Basis GaAs/GaAlAs haben einen Entwicklungsstand erreicht, der ihren breiten Einsatz als Sendeelemente in der optischen Nachrichtentechnik erlaubt. Inzwischen hat sich jedoch gezeigt, daß der von ihnen abgedeckte Spektralbe-

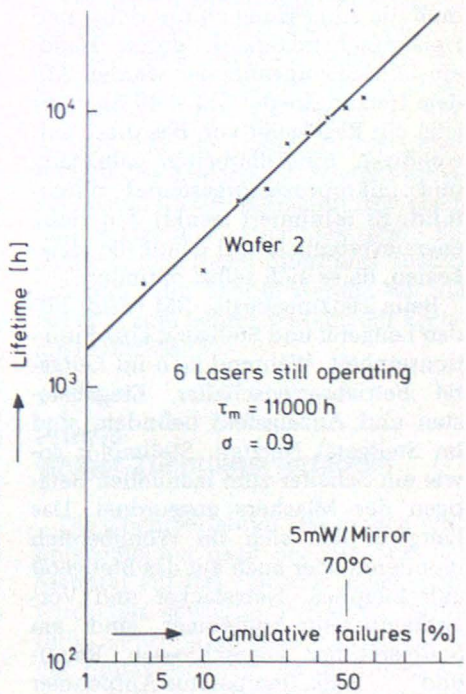


Bild 6. Lebensdauertest an V-Nut-Lasern

reich um 850 nm keineswegs der optimale Arbeitsbereich der Lichtleitfasern ist. Die Übertragungseigenschaften der Fasern (Dämpfung und Bandbreite) erreichen noch weit günstigere Wert bei längeren Wellenlängen um 1300 bzw. 1550 nm [9].

Daher wurde weltweit die Entwicklung von Laserdioden für diesen Spektralbereich aufgenommen. Als Halbleitermaterial scheint sich hierfür das System Indiumphosphid/Indiumgalliumarsenidphosphid (InP/InGaAsP) durchzusetzen. Die bisherigen Ergebnisse lassen erwarten, daß Laserdioden auf dieser Basis vergleichbare Eigenschaften mit den in diesem Bereich beschriebenen GaAs/GaAlAs-Dioden erreichen. Als einziger gravierender Unterschied wurde bisher eine weit stärkere Temperaturabhängigkeit der Emission gefunden, die bisher noch nicht voll verstanden wird.

Literatur

[1] *Börner, M.*: Mehrstufiges Übertragungssystem für in Pulscodemodulation dargestellte Nachrichten. Deutsches Patent 1 254 513, Britisches Patent 1 202 418, Französisches Patent 1 548 972, US-Patent 3 845 293, angemeldet am 21.12.66.

[2] *Börner, M.*: Zur Geschichte der Optischen Nachrichtentechnik im Hause AEG-Telefunken. Wissenschaftl. Ber. AEG-Telefunken Bd. 53 (1980), Nr. 1 und 2.

[3] *Tsukada, T.*: Buried Heterostructure Injection Lasers. Proc. 6th Conf. Solid State Devices, Tokyo, 1974. Suppl. J. Japan. Soc. Appl. Phys., vol 44 (1975), S. 33.

[4] *Aiki, K.; Nakamura, M.; Kuroda, T.; Umeda, J.; Ito, R.; Chinone, N.; Maeda, M.*: Transverse-Mode Stabilized (Al/Ga)As Injection Lasers with Channeled Substrate-Planar Structure. IEEE Quant. Electron., vol QE-14 (1978), S. 89.

[5] *Namizaki, H.; Kan, H.; Ishii, M.; Ito, A.*: Transverse-Junction-Stripe Geometry Double Heterostructure Lasers with Very Low Threshold Current. J. App. Phys., vol 45 (1974), S. 2785.

[6] *Minden, M. T.*: Effects of Proton Bombardement on the Properties of GaAs Laser Diodes. J. Appl. Phys., vol 47 (1976), S. 1090.

[7] *Ripper, J. E.; Dyment, J. C.; D'Asaro, L. A.; Paoli, T. L.*; Stripe-Geometry Double Heterostructure Junction Lasers: Mode Structure and CW-Operation above Room Temperature. Appl. Phys. Lett, vol 18 (1971), S. 155.

[8] *Marschall, P.; Schlosser, E.; Wölk, C.*: New Diffusion Type Stripe Geometry Injection Laser. Electron. Lett, vol 15 (1979), S. 38.

[9] *Maslowski, S.*: Trends in Fiber Optical Communications in W. A. Kaiser and W. E. Proebster ed.: From Electronics to Microelectronics. North-Holland Publ. Co., Amsterdam-New York-Oxford, 1980, S. 168.

Stichworte zum Inhalt

Laserdioden, optische Resonatoren, Doppelheterostruktur, Streifenkontakte, V-Nut-Laser, Emissionswellenlänge, Lebensdauer.

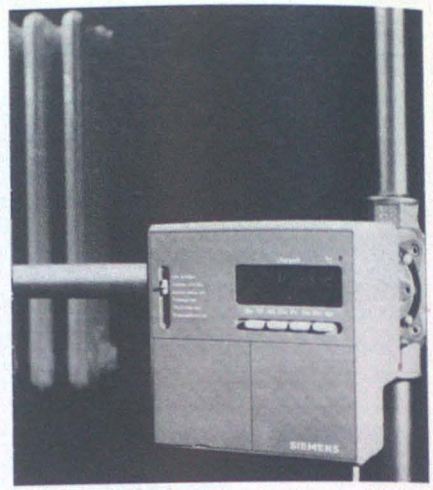
Selbstabgleichender Heizungsregler

Bei herkömmlichen Heizungsreglern muß die Anpassung an die Haus- und Heizungscharakteristik durch Handeinstellung vorgenommen werden. Mit dem Heizungsregler SM stellt Siemens jetzt ein Regelgerät vor, das diese aufwendigen Einstellarbeiten selbsttätig und mikroprozessorgesteuert durchführt. Es minimiert (senkt) den Heizenergieverbrauch und damit die Heizkosten, da es sich selbst optimiert.

Beim Heizungsregler SM (*Bild*) bilden Leitgerät und Stellgerät eine Funktionseinheit. Während sich im Leitgerät Betriebsartenschalter, Eingabetasten und Anzeigefeld befinden, sind im Stellgerät Netzteil, Stellmotor sowie ein Schalter zum manuellen Betätigen des Mischers angeordnet. Das Leitgerät läßt sich im Wohnbereich montieren oder auch auf das Stellgerät aufschnappen. Netzstecker und Vorlauftemperatur-Aufnehmer sind am Stellgerät fest angeschlossen. Raum- und Außentemperatur-Aufnehmer werden angeklemmt. Der Heizungsregler kann über universell verwendbare Anbauteile an alle handelsüblichen Dreiwege- oder Vierwege-Mischer montiert werden.

Die frei programmierbare Regeleinheit hat Eingabetasten, über die sich das Programm für typische Tages- und Wochenabläufe eingeben läßt. In jedes der maximal vier Tagesprogramme sind sechs variable Zeitschaltpunkte eintastbar, die jeweils mit der gewünschten Raumtemperatur programmiert werden können. Jedes Programm kann einem beliebigen Wochentag zugeordnet werden. Im Gerät sind Ursprungsheizkurven und Ursprungstemperaturniveaus eingespeichert, die unter Berücksichtigung der Außentemperatur den jeweiligen Sollwert für den Heizungsregler vorgeben.

Zum Optimieren von Heizkurve und Niveau werden automatisch eine Vielzahl von Daten abgefragt (z. B. Zeitdauer nach einem Sollwertsprung, Abweichung des Istwertes vom Sollwert, Raumtemperatur, Vorlauftemperatur, Außentemperatur) und stündlich summarisch nach verschiedenen Kriterien bewertet. Ergeben sich – bezogen auf die Raumtemperatur – Abweichungen des Istwertes vom Sollwert, so werden sie vom Gerät über die Heizkurve oder das Niveau ausgeglichen. Das Niveau wird im Temperaturbereich von +5...+20 °C, die Heizkurve im Bereich von +5...–20 °C nachgeführt. Dadurch sind keine Handeinstellungen mehr erforderlich; selbsttätig sucht sich der Heizungsregler die optimale Heizkurve und das optimale Niveau. Ra.



Der selbstabgleichende Heizungsregler SM führt die aufwendigen Einstellarbeiten zur optimalen Justierung von Heizkurve und Niveau selbsttätig und mikroprozessorgesteuert durch (Werkfoto)

Für „saubere" Radios

Der Stadtstaat Hongkong wird sein erstes Testlabor einrichten, das Radio- und Fernsehgeräte auf ihre Störstrahlung untersucht. In der Vergangenheit haben die Hersteller in Hongkong öfter Schwierigkeiten mit der Nicht-Erfüllung der höchstzulässigen Störstrahlung in verschiedenen Ländern gehabt (das FTZ kann davon ein Lied singen).

Um das Übel an der Wurzel zu fassen, hat man jetzt in dem elektronisch „sauberen" Stadtteil Shatoukok entsprechende Einrichtungen geschaffen. Die Untersuchungsergebnisse sollen den Zulassungsbehörden in den verschiedenen Ländern vorgelegt werden: Man hofft, daß damit zusätzliche Tests bei der Einfuhr unnötig werden. Anfangen wird man mit Rundfunk- und Fernsehgeräten. Später sollen weitere elektronische Artikel folgen (TV-Spiele, Computer, Haushaltsartikel). Kp.

Dr. Horst P. Strunk

Schicht für Schicht

Züchtung schichtenförmiger Halbleiterkristalle

Die Epitaxie ist heute ein bekanntes und bewährtes Herstellungsverfahren für Halbleiter-Bauelemente. Im Laufe der Zeit wurde der komplizierte Prozeß in der Art weiterentwickelt, daß heute hochwertige elektronische Bauelemente auf preiswerten Trägermaterialien hergestellt werden können. Mit der Beschreibung des Verfahrens nahm der Autor an dem Wettbewerb um den FUNKSCHAU-Preis 1981 teil und gewann in der 1. Abteilung „Kompliziertes verständlich dargestellt" den 2. Preis.

Bei der Herstellung moderner Halbleiterbauelemente geht man bis auf wenige Ausnahmen von sogenannten Wafern aus. Dies sind etwa 0,3 mm dicke Scheiben, welche von großen Stäben nach einem speziellen Sägeverfahren abgetrennt werden. Die Stäbe haben z. B. bei dem in der Halbleitertechnologie wichtigen Silizium typische Abmessungen von etwa 10 cm im Durchmesser und bis zu 1 m Länge. Wafer und damit die Ausgangsstäbe müssen für die Bauelementeproduktion eine sehr hohe Qualität aufweisen. Man benötigt einkristalline Stäbe, das heißt, die Atome sind im gesamten „Kristall" einheitlich angeordnet (schematisch dargestellt, *Bild 1*). Störungen dieser Atomanordnung, die also vermieden werden müssen, werden von sogenannten Kristallbaufehlern verursacht. Hierzu zählen insbesondere die linienförmigen Versetzungen, auf die wir später noch zurückkommen werden. Wichtig ist außerdem, daß das Ausgangsmaterial nur sehr geringe Mengen an Verunreinigungen (außer den gezielt eingebrachten Dotierstoffen) enthalten darf (je nach Verunreinigungsart 1 Fremdatom auf 10^6...10^9 Siliziumatome).

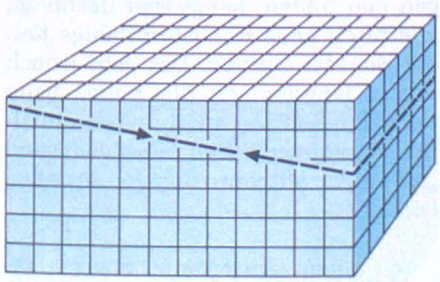


Bild 1. Perfekter Modellkristall. Jeder Kristallwürfel stellt ein Atom dar, kann aber, insbesondere bei Halbleitern aus mehreren Atomsorten, auch eine Gruppe einiger Atome (Moleküle) bedeuten. Der typische Abstand zwischen zwei Atomen im Halbleiter ist etwa 0,4 mm. Die Pfeile bezeichnen eine gedachte Schnittebene (vergleiche Bild 3)

Ausnutzung: 0,5 %

Dieses skizzierte Produktionsverfahren hat jedoch einen großen Nachteil: Die elektrisch aktiven Bereiche der produzierten integrierten Schaltungen oder Transistoren erfassen eine Oberflächenschicht von wenigen µm Tiefe, also nur etwa ein Hundertstel des Wafervolumens. Berücksichtigt man den Wafer-Sägeverlust von maximal 50 %, dann werden auf sehr teure Art Kristallstäbe mit einer Qualität gezüchtet, die an sich nur für ein Zweihundertstel des Gesamtvolumens nötig wäre.

Allein diese Abschätzung ist Grund genug für den Wunsch, eine billige Unterlage („Substrat") herzunehmen und darauf schichtenförmige Kristalle der gewünschten Qualität aufwachsen zu lassen. Dieses mit „Epitaxie" bezeichnete Verfahren hat außerdem den Vorteil, daß die Zusammensetzung der aufwachsenden Schicht, also z. B. die Dotierung, während des Zuchtprozesses geändert werden kann. Solche „Mehrfachschichten" können die spätere Bauelementeherstellung sehr stark vereinfachen. Sie werden z. B. bei optoelektronischen Bauelementen, wie etwa Leuchtdioden, schon angewendet. In diesem Falle ist es sehr schwierig, große Einkristalle des Grundmaterials (z. B. GaAs) mit der notwendigen Güte herzustellen.

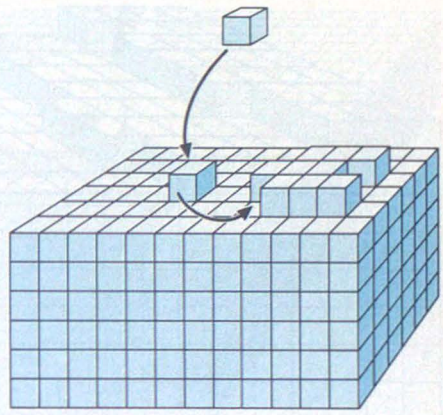


Bild 2. Ablagerung von Atomen auf der Oberfläche während des Kristallzuchtprozesses. Atome lagern sich bevorzugt an Oberflächenstufen an

Im folgenden sollen einmal die Grundprozesse betrachtet werden, die beim epitaktischen Aufwachsen im atomaren Maßstab ablaufen. Es ist die Kunst des Kristallzüchters, durch geschickte Auswahl der Zuchtbedingungen diese komplizierten atomaren Prozesse auch bei der Massenfertigung so zu steuern, daß Kristallschichten mit der erforderlichen Güte entstehen. Wir nehmen der Einfachheit halber an, daß auf ein Substrat eine Schicht desselben Materials, z. B. aus Silizium, aufwächst (Homöo-Epitaxie). Für unterschiedliche Materialien (Hetero-Epitaxie) gelten unsere Betrachtungen ebenfalls, einige hier vernachlässigbare Besonderheiten treten allerdings zusätzlich auf. Zum Schluß werden wir ein Beispiel zum heutigen Stand der Epitaxie betrachten.

Prinzip einiger Züchtungsverfahren

Die Zuchtverfahren lassen sich grob unterscheiden nach der Art, wie das Material auf das Substrat aufgebracht wird. Das gewählte Verfahren beeinflußt natürlich gewisse Eigenschaften der Epitaxieschicht. Es muß aber auf jeden Fall ermöglichen, den Epitaxie-

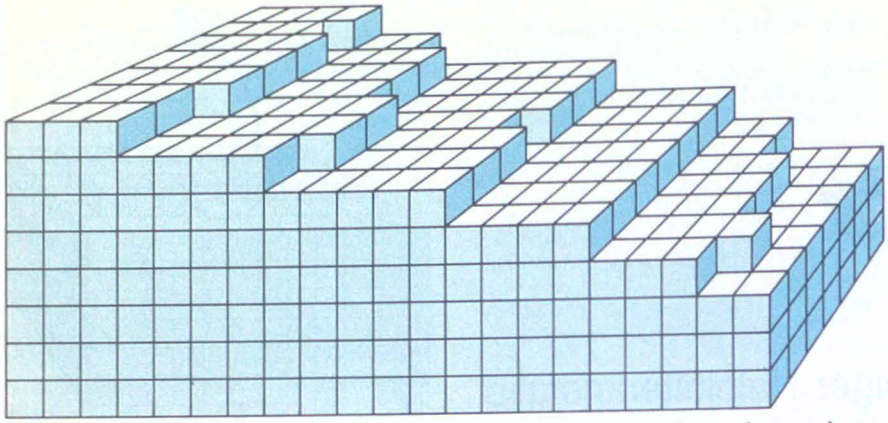


Bild 3. Schräg angeschnittener Kristall. Es entstehen viele Oberflächenstufen, an denen Atome (hier dargestellt durch Würfel) während des Kristallwachstums angelagert werden können

prozeß bei einer vorbestimmten Schichtdicke auch wieder zu unterbrechen. Sämtliche Verfahren laufen in einem geschlossenen Gefäß ab, im Vakuum oder meist unter Schutzgas, weil sonst die Reinheitsbedingungen nicht eingehalten werden können.

Ein Verfahren nutzt aus, daß sich Gase an kühlen Stellen niederschlagen. Diese „Aufdampf-Epitaxie" entspricht dem Vorgang, bei dem gasförmiges, in der Luft enthaltenes Wasser sich an einer unter den Gefrierpunkt abgekühlten Fensterscheibe als kristallisiertes Wasser („Eisblumen") abscheidet. Allerdings würden bei Halbleitern oft sehr hohe Temperaturen benötigt, um überhaupt genügend Atome gasförmig zu erhalten. Solche hohen Temperaturen erschweren den Epitaxieprozeß. Man vermeidet sie daher, indem man eine geeignete chemische Reaktion ausnutzt („Gasphasen-Epitaxie"). Zum Beispiel bildet Silizium mit Wasserstoff das Gas Silan. Dieses Gas ist bei niedriger Temperatur stabil, zerfällt aber oberhalb einiger Hundert Grad im Kontakt mit Oberflächen. Bei der großtechnischen Epitaxie treffen die Silanmoleküle auf das erhitzte Substrat auf und zerfallen. Die Siliziumatome bleiben haften, und der Wasserstoff entweicht.

Mit dünnen Schichten zu kleinen Laufzeiten

Verwandt mit dieser Gasphasen-Epitaxie ist die Molekularstrahl-Epitaxie. Bei diesem Verfahren wird mit aufwendigen Methoden ein sehr reiner Atom- oder Molekülstrahl im extrem guten Vakuum erzeugt und auf das Substrat gerichtet. Da die Anzahl der Atome oder Moleküle im Strahl vergleichsweise gering ist, werden relativ kleine Wachstumsgeschwindigkeiten erreicht. Die Stärke dieses Verfahrens liegt daher in der präzisen, wenn auch langsamen Herstellung dünner Schichten sehr definierter Zusammensetzung. Viele Labors bemühen sich um die Entwicklung dieses Verfahrens: Dünne Schichten bedeuten sehr kleine Laufzeiten für die Ladungsträger und ermöglichen die Herstellung immer schnellerer Bauelemente.

Ein weiteres Verfahren ist die Flüssigphasen-Epitaxie. Hierbei ist der abzuscheidende Stoff in einem Lösungsmittel in der maximal möglichen Konzentration gelöst. Diese Sättigungskonzentration wird in vielen Fällen mit absinkender Temperatur kleiner. Ein für Silizium geeignetes Lösungsmittel ist das Metall Gallium, welches bei etwa 30 °C flüssig wird. Also wird Gallium bei hoher Temperatur, z. B. 800 °C, mit Silizium gesättigt und auf das Substrat aufgegossen. Dann wird die Temperatur langsam abgesenkt, dadurch fällt die Sättigungskonzentration und das überschüssige Silizium lagert sich auf dem Substrat ab. Ist die gewünschte Schichtdicke erreicht, wird die restliche Lösung abgegossen. Dieses Verfahren ist relativ einfach und kann im Prinzip bei kleinen Temperaturintervallen und kurzen Verweilzeiten der Lösung auf dem Substrat sehr dünne Epitaxieschichten hoher Qualität erzeugen. Wir werden Beispiele für dieses Verfahren etwas später kennenlernen.

Kristallwachstum auf dem perfekten Substrat

Die weiteren Erläuterungen gehen von dem Modellkristall in Bild 1 aus. Kristalle sind bestrebt, möglichst perfekte, das heißt dicht mit Atomen besetzte Oberflächen („dicht gepackte Ebenen") zu erreichen. Dadurch werden die Atome an der Oberfläche ähnlich stark wie im Inneren an den Kristallverband gebunden. Für das folgende muß man außerdem wissen, daß die Atome des Kristalls nicht starr auf ihren Plätzen sitzen, sondern kleine Schwingungen um ihre Gleichgewichtslage ausführen, deren Amplitude mit steigender Temperatur zunimmt.

Wird nun ein einzelnes Atom während der Epitaxie auf dieser glatten Oberfläche abgelagert (*Bild 2*), dann entsteht an sich eine ungünstige Oberflächenstruktur. Dieses Atom ist daher nur schwach an seine Unterlage gebunden. Es kann wegen der Temperaturschwingungen des Kristalles sehr leicht herumwandern (Oberflächendiffusion) oder sogar die Oberfläche wieder verlassen. Andere Bedingungen entstehen, wenn dieses Atom während seiner Diffusionsbewegung auf eine schon begonnene neue Atomlage (Keim) trifft (Bild 2). An der Kante dieses Keimes findet es zwei, in der Nische sogar drei oder vier Umgebungsatome und wird entsprechend fest gebunden. Durch solche Anlagerungen breitet sich der Keim über die gesamte Oberfläche aus und wächst zu einer neuen Atomlage heran. Ein Kristall wächst also mikroskopisch senkrecht zu seiner makroskopischen Wachstumsrichtung.

Ein Keim muß eine kritische Größe überschreiten, wenn er wachstumsfähig sein soll. Diese Größe schwankt je nach Zuchtbedingungen von einigen Hundert bis vielen Hundert Atomen. Unterhalb dieser kritischen Größe lösen sich im Zeitmittel mehr Atome vom Keim ab, als sich anlagern. Die Geschwindigkeit, mit der sich Atomlagen neu bilden, hängt aber davon ab, wie rasch neue wachstumsfähige Keime gebildet werden. Das geht jedoch relativ langsam, da die Keime beim perfekten Substrat nur durch das zufällige Zusammentreffen einer genügend großen Anzahl von Atomen entstehen können.

Mit einem Trick kann beim perfekten Kristall dieses Problem der langsamen Keimbildung – wenigstens zu Anfang des Zuchtprozesses – umgangen werden. Das Substrat wird unter einem kleinen Winkel (einige Winkel-Minuten) zu einer dicht gepackten Ebene geschnitten, beim Modellkristall in Bild 1 etwa entlang der eingetragenen

Pfeile. Wegen der atomaren Struktur entstehen Oberflächenstufen, die jeweils Stücke der dicht gepackten Oberfläche verbinden (*Bild 3*). An diesen Stufen kann der Kristall rasch wachsen, allerdings nur solange, bis entsprechend viele neue Atomlagen geformt sind. Leider läßt sich die Anzahl solcher Stufen nicht einfach durch entsprechend große Schnittwinkel vergrößern. Von einer bestimmten Dichte ab beeinflussen sich die Stufen gegenseitig beim Kristallwachstum und bilden ganze Stufenbündel. Dadurch entstehen sehr hohe Oberflächenstufen oder Terrassen. Die Anwendbarkeit einer solchen Schicht ist dadurch erheblich eingeschränkt.

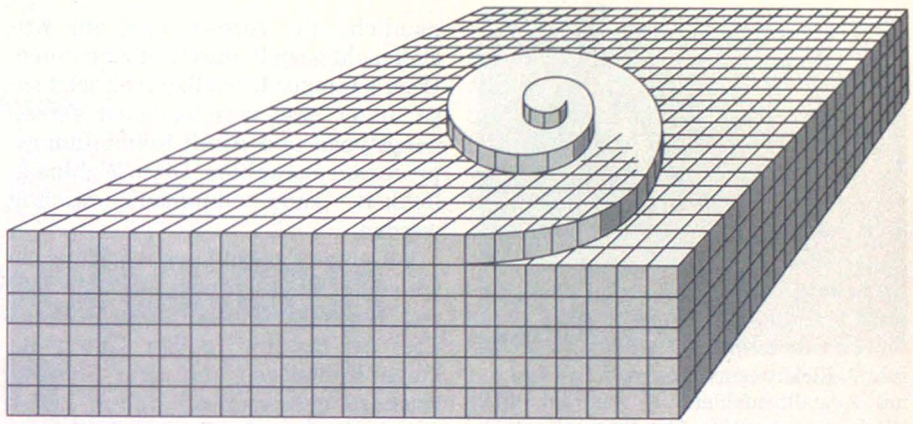


Bild 5. Bevorzugtes Kristallwachstum an der natürlichen Oberflächenstufe der Schraubenversetzung. Es entsteht eine Wachstumspyramide, um die die Stufe sich herumwindet; Kristallschicht liegt auf Kristallschicht

Kristallwachstum an Versetzungen

Sämtliche erwähnten Keimbildungs- und Wachstumsschwierigkeiten treten nicht auf, wenn das Substrat eine sogenannte Schraubenversetzung enthält. Diese Versetzung können wir uns folgendermaßen erzeugt denken: Der Modell-Kristall in Bild 1 wird entlang einer Ebene bis zu einer gewissen Tiefe aufgeschnitten. Die beiden gegenüberliegenden Schnittflächen werden nun senkrecht zur Schnittrichtung um einen Atomabstand gegeneinander verschoben und wieder zusammengeschweißt (*Bild 4*). Die Ordnung des Kristalles bleibt dadurch bis auf einen linienförmigen Bereich im Kristallinnern erhalten. Dieser Bereich hat eine wichtige Eigenschaft: Läuft man zum Beispiel auf der oberen Ebene beginnend im Uhrzeigersinn um diese Versetzung herum, dann bewegt man sich nacheinander auf verschiedenen Ebenen schraubenförmig durch den Kristall hindurch; daher rührt der Name Schraubenversetzung.

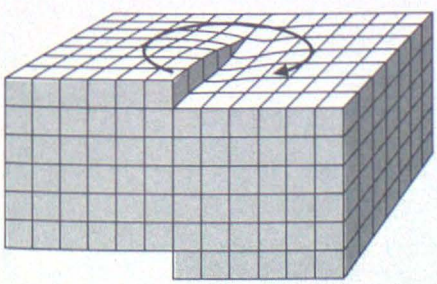


Bild 4. Modellkristall, der eine Schraubenversetzung enthält. Diese Versetzung erzeugt eine Oberflächenstufe und verursacht eine schraubenförmige Kristallstruktur (angedeutet mit dem Pfeil)

Diese Versetzung ist immer von einer natürlichen Oberflächenstufe begleitet. Bei Anlagerung von Atomen an diese Stufe wächst der Kristall schraubenförmig um die Versetzung herum in die Höhe. Die Stufe selbst bleibt erhalten und nimmt dabei Spiralform an, da die Schraubenversetzung von ihren benachbarten Stufenteilen rascher umrundet werden kann als von den entfernteren. Es entsteht eine meist sehr flache Wachstumspyramide (*Bild 5*). *Bild 6* zeigt ein Beispiel aus der Flüssigphasen-Epitaxie von GaAs. Das benutzte Substrat hatte in diesem Falle eine dreizählige Kristallsymmetrie, die der Wachstumsspirale den dreieckigen Verlauf aufgezwungen hat. Der Durchstoßpunkt der Schraubenversetzung im Spiralzentrum ist gut zu erkennen.

Neue Entwicklungen in der Flüssigphasen-Epitaxie

Die Berechtigung unserer modellhaften Betrachtungen des Kristallwachstums, die zum Teil 30 Jahre alt sind, leitet sich indirekt daraus her, daß die erwartete Struktur der Oberflächenstufen auch beobachtet wird. Tatsächlich waren solche Oberflächenbeobachtungen bis vor ungefähr einem Jahr die einzigen mikroskopischen Stützen für das Wachstumsmodell. Erst dann gelang es nämlich, die Kristallbaufehler selbst in den Stufenzentren elektronenmikroskopisch zu analysieren und damit die geschilderten Vorstellungen direkt zu prüfen. Daß solche Untersuchungen erst so spät möglich wurden, liegt an dem sehr kleinen Gesichtsfeld des Elektronenmikroskopes; die wenigen Versetzungen in einer Epitaxieschicht konnten überhaupt erst gefunden werden, als es gelungen war, großflächige, auf etwa 1 µm gedünnte Präparate (Durchmesser einige mm) von den Epitaxieschichten herzustellen.

Wie zu erwarten war, wurde in jeder Wachstumspyramide eine einzelne Versetzung gefunden; *Bild 7* zeigt ein Beispiel. Der Typ einer solchen Versetzung kann mit mehreren Aufnahmen, die unter verschiedenen Mikroskopeinstellungen aufgenommen worden sind, bestimmt werden. Es ist nach den vorherigen Betrachtungen nicht überraschend, daß Schraubenversetzungen analysiert wurden. Überraschend jedoch ist die Entdeckung, daß in den bisher untersuchten Flüssigphasen-Epitaxieschichten aus Si und GaAs ein weiterer Versetzungstyp, die sogenannte Stufenversetzung, das Kristallwachstum mindestens genauso wirksam fördert. Die Überraschung hängt mit der Versetzungsstruktur zusammen. Wir können diese Versetzung erzeugt denken, indem der Modellkri-

Bild 6. Wachstumsspirale auf einer GaAs-Schicht, die mittels der Flüssigphasen-Epitaxie hergestellt wurde. Die nur etwa 0,5 nm hohen Oberflächenstufen wurden „dekoriert", damit sie im Lichtmikroskop gut sichtbar sind. Zur Dekoration wurde dem Lösungsmittel Germanium zugesetzt, welches sich am Ende des Zuchtprozesses bevorzugt in der Nähe dieser Stufen niederschlug

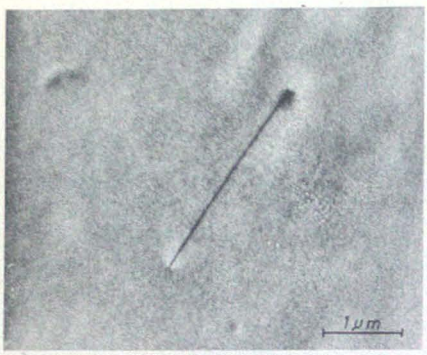


Bild 7. Elektronenmikroskopisches Bild eines Kristallbaufehlers im Zentrum einer Wachstumspyramide. Das Präparat enthält den obersten Bereich einer GaAs-Schicht, die mittels Flüssigphasen-Epitaxie gezüchtet worden war. Die Pyramide selbst ist wegen der hohen Vergrößerung nicht sichtbar. Die schwarze Linie ist das elektronenmikroskopische Bild einer Versetzung, die sich schräg durch das Präparat erstreckt

stall wie vorher beschrieben aufgeschnitten wird, jetzt aber eine zusätzliche Atomebene in den Schnitt eingezwängt wird (siehe *Bild 8*). Im Unterschied zur Schraubenversetzung ist mit der Stufenversetzung keine natürliche Oberflächenstufe verbunden. Warum nun diese Versetzung trotzdem das Kristallwachstum so stark fördert, ist noch nicht bekannt und wird gegenwärtig wissenschaftlich untersucht. Für uns reicht der experimentelle Befund aus, daß am Austrittspunkt der Stufenversetzung eine neue Atomlage in Form eines flächenhaften Keimes sehr leicht gebildet werden kann (siehe *Bild 9*).

Zwei Versetzungstypen zur Auswahl

Die geschilderten Untersuchungen an Versetzungen haben einen durchaus praktischen Aspekt. Man hofft

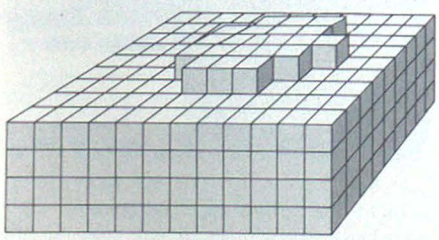


Bild 9. Bevorzugtes Kristallwachstum am Durchstoßpunkt der Stufenversetzung. Die leichte Keimbildung neuer Atomlagen ist experimentell erwiesen; ihre Ursache ist jedoch noch nicht bekannt, hängt aber sicherlich mit der starken Kristallverzerrung am Durchstoßpunkt der Versetzung zusammen

nämlich, die Versetzungen zur Kristallzucht gezielt einsetzen zu können. Dazu kann der Kristallzüchter jetzt sogar unter zwei verschiedenen Versetzungstypen und damit Keimbildungsprozessen auswählen. Diese Wahlmöglichkeit kann durchaus wichtig werden.

Bei einer Variante der relativ preisgünstigen Flüssigphasen-Epitaxie läßt man eine abgemessene Lösungsmenge über das Substrat fließen. Durch die kurze Kontaktzeit mit dem Substrat wachsen entsprechend dünne Epitaxieschichten auf. Solche Schichten werden insbesondere bei Bauelementen benötigt, die aus Mehrfachschichten hergestellt werden. Wir nehmen nun an, daß eine Versetzung im Substrat, z. B. in der Nähe der Einlaßstelle der Lösung vorhanden ist. Bei der Schraubenversetzung muß die Oberflächenstufe während ihrer Rotation teilweise gegen die Strömungsrichtung wachsen (vergleiche Bild 5). Bei der Stufenversetzung ist wegen des flächenhaften Keims immer eine Stufe vorhanden, die mit der Strömung wachsen kann (vergleiche Bild 9). Zwischen diesen beiden Fällen dürften daher zumindest bei den angestrebten hohen Strömungsgeschwindigkeiten Unterschiede im Kristallwachstum zu erwarten sein.

Mit diesem Ausblick auf die weitere Entwicklungsrichtung der Epitaxie soll der Beitrag enden. Die gezielte Nutzung der Versetzungen beim Kristallwachstum hat gute Erfolgsaussichten. In *Bild 10* ist der heutige Stand der Untersuchungen dokumentiert. An einer einzigen Versetzung ist eine Silizium-Epitaxieschicht von einigen mm² Fläche entstanden. Diese Aufnahme ist ein schönes Beispiel dafür, daß der bislang in der Halbleitertechnologie immer vermiedene „Fehler" Versetzung auch seine guten Seiten haben kann.

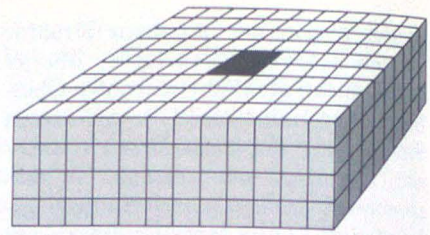


Bild 8. Modellkristall, der eine Stufenversetzung enthält. Diese Versetzung verursacht keine natürliche Oberflächenstufe

Die Ergebnisse zur Flüssigphasen-Epitaxie wurden von einer Arbeitsgruppe unter Leitung von Dr. E. Bauser und dem Autor erarbeitet. Der Gruppe gehören außerdem an: Dr. D. Käß, Dipl.-Ing. (FH) P. Koroknay, Dr. R. Linnebach und Dipl.-Ing. (FH) G. Raithel. Die Arbeiten zur Silizium-Flüssigphasen-Epitaxie (ein Gemeinschaftsprojekt der Max-Planck-Institute für Festkörperforschung und für Metallforschung in Stuttgart) wurden vom Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördert.

Stichworte zum Inhalt
Epitaxie, Züchtungsverfahren, Gasphasen-Epitaxie, Molekularstrahl-Epitaxie, Flüssigphasen-Epitaxie, Oberflächen-Diffusion, Schraubenversetzung, Stufenversetzung, Kristallwachstum.

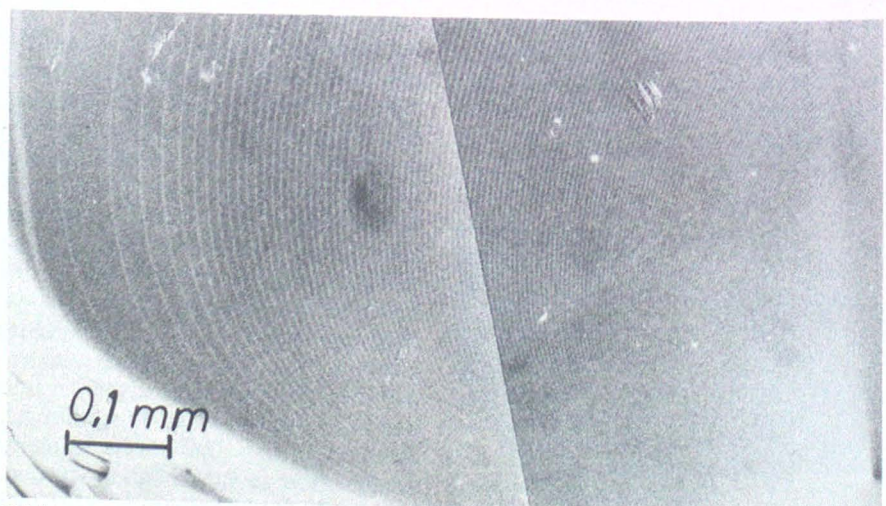


Bild 10. Ausschnitt aus einer Fläche von einigen mm² einer Silizium-Schicht, die mittels Flüssigphasen-Epitaxie gezüchtet wurde. Die Pyramide rechts unten enthält eine Versetzung, an der die Oberflächenstufen erzeugt wurden. Diese Stufen sind jeweils etwa 0,4 nm hoch (eine Atomlage) und konnten im Lichtmikroskop mit einer Interferenztechnik ohne Dekoration sichtbar gemacht werden

Peter Kleinschmidt, Dr. Hans Meixner

Kaltleiter messen, schalten und heizen

Temperaturabhängige Widerstände werden in der Elektrotechnik und Elektronik zum Messen von Temperaturen und Kompensieren von Temperaturabhängigkeiten eingesetzt, Temperaturkoeffizienten von einigen Prozent je Grad sind typisch. Im Gegensatz dazu kann man beim ferroelektrischen Kaltleiter aus Bariumtitanat geradezu von einer Sprungtemperatur sprechen, oberhalb derer sich der Widerstand bei jeweils 2 Grad Temperaturerhöhung verdoppelt. Zudem können solche Kaltleiterwiderstände elektrisch hoch belastet und als selbstbegrenzende Heizer verwendet werden. Aber auch als Verzögerungs-, Stabilisier- und Sicherungselemente finden sie zunehmend Einsatz.

Der Kaltleiter oder PTC-Thermistor (PTC = positive temperature coeffizient), kurz PTC genannt, ist ein elektrischer Widerstand, dessen Wert mit steigender Temperatur zunimmt. Praktisch jeder Metalldraht ist ein PTC. Sein Widerstand steigt proportional zur absoluten Temperatur, d. h. bei 0 °C um $1/273$ seines Wertes je Grad. In der Meßtechnik ist es sehr verbreitet, den temperaturabhängigen Widerstand von Platindraht zur Temperaturmessung zu benutzen. Von Halbleitern ist entgegengesetztes Verhalten bekannt, ihr Widerstandswert nimmt mit steigender Temperatur ab, sie haben ein NTC-(negativ temperature coeffizient-) Verhalten.

1951 wurde von Haayman, Dam und Clasens [1] an einer durch Dotierung halbleitend gemachten Sintermasse aus Bariumtitanat ($BaTiO_3$) überraschenderweise ein Kaltleitereffekt entdeckt, der um den Faktor 250 größer ist als bei Metallen. Der Widerstand solcher keramischer Kaltleiter verdoppelt sich jeweils bei 2 Grad Temperaturerhöhung oder anders ausgedrückt: 20 Grad Temperaturerhöhung lassen den Widerstand auf das Tausendfache steigen *(Bild 1)*.

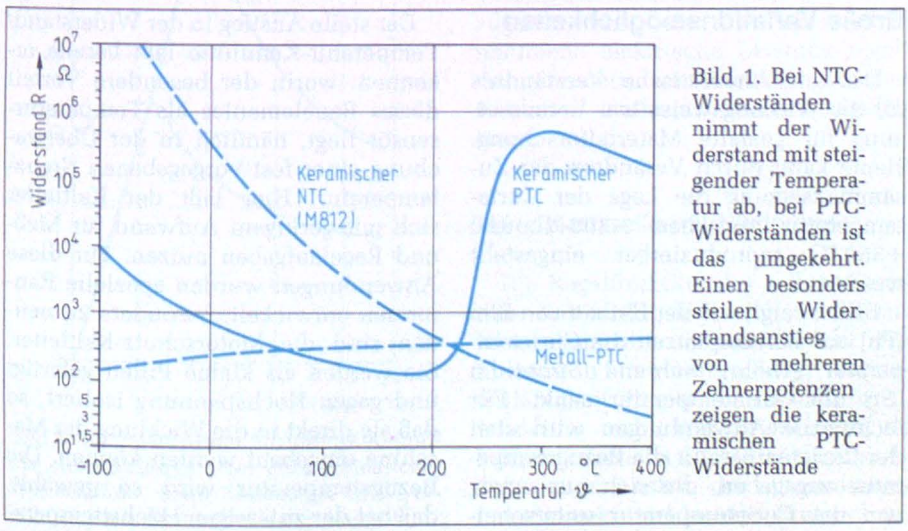


Bild 1. Bei NTC-Widerständen nimmt der Widerstand mit steigender Temperatur ab, bei PTC-Widerständen ist das umgekehrt. Einen besonders steilen Widerstandsanstieg von mehreren Zehnerpotenzen zeigen die keramischen PTC-Widerstände

Dieser anomale Effekt hat Theoretiker und Ingenieure gleichermaßen fasziniert. Zehn Jahre dauerte es, bis eine befriedigende theoretische Erklärung des Effekts von Heywang [2] gefunden wurde. Heute gibt es eine Vielzahl hochgezüchteter Materialien und eine breite Palette von Anwendungen, wobei besonders auf den Gebieten der selbstregelnden und übertemperatursicheren Heizsysteme sowie der Überlastsicherungen die Grenzen der weiteren Entwicklung noch nicht abzusehen sind.

Leitende Bereiche, sperrende Korngrenzen

Die theoretische Erklärung des Kaltleiterphänomens ist in den Grundzügen einfach: In dem an sich hochisolierenden $BaTiO_3$ wird bei der Herstellung etwa jedes tausendste zweiwertige Bariumatom durch ein dreiwertiges Lanthanatom ersetzt. Damit wird je cm^3 ein Überschuß von 10^{18} bis 10^{19} Elektronen erzeugt, der die Leitfähigkeit bewirkt. Soweit verhält sich das derart dotierte $BaTiO_3$ theoretisch wie auch im Experiment wie ein klassischer Halbleiter mit negativem Temperaturkoeffizienten.

Das besondere Verhalten des Materials hat seine Ursache im Zusammenwirken zweier Phänomene: der ferroelektrischen Phasenumwandlung des Bariumtitanats bei der Curietemperatur T_c und den an den Korngrenzen des polykristallinen Keramikgefüges lokalisierten Potentialbarrieren.

Beim Sinterprozeß der pulverförmigen Rohstoffe entstehen durch Korngrenzen getrennte leitfähige $BaTiO_3$-Kristallite von etwa 10 µm Durchmesser *(Bild 2a)*. An den Korngrenzen sind – wie in *Bild 2b* stark vereinfacht und nicht maßstäblich dargestellt – Gitterbaufehler, z. B. negativ geladene Ba-Fehlstellen, lokalisiert. Diese negativen Ladungen üben eine abstoßende Wirkung auf die ebenfalls negativen beweglichen Ladungsträger in den Körnern aus und behindern den Übergang von Korn zu Korn.

Dipolordnung verschwindet

Daß trotzdem eine hohe Leitfähigkeit von maximal 10 S/m zustandekommt, ist allein darauf zurückzuführen, daß Bariumtitanat unterhalb seiner sogenannten „Curietemperatur" von 120 °C ferroelektrisch ist, d. h. starke elektri-

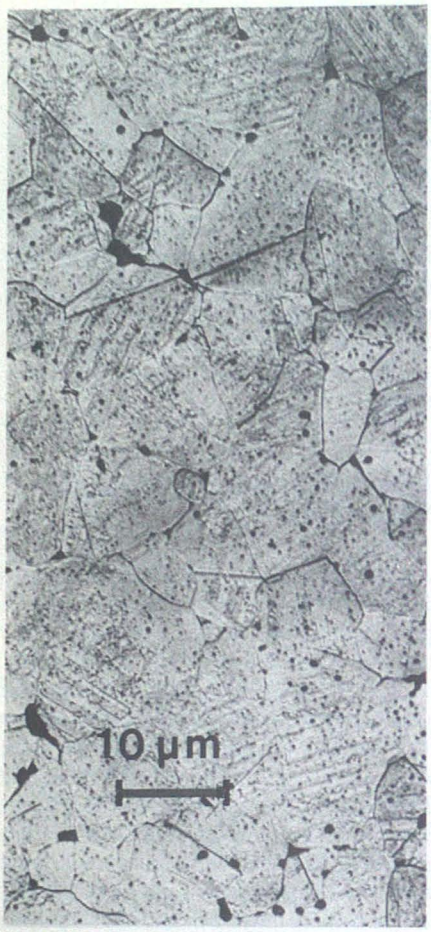


Bild 2a. Mikroskopaufnahme des Kaltleitermaterials. In dem gesinterten Kaltleitermaterial bilden sich kristalline Bereiche von etwa 10 µm Größe. An den Korngrenzen sind negative Ladungen verankert, die die in den Körnern vorhandenen Leitungselektronen am Übergang von Korn zu Korn hindern.

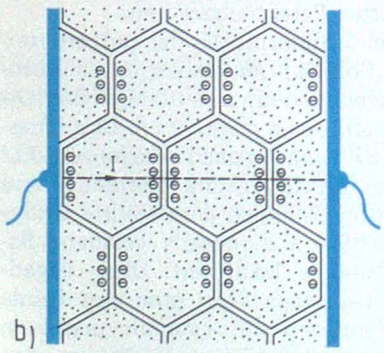


Bild 2b. Schematische Darstellung des Stromflusses

sche Dipole besitzt, die diese Korngrenzladungen abschirmen und damit fast wirkungslos machen.

Damit ist gleichzeitig die Ursache für den plötzlichen Widerstandsanstieg gegeben. Oberhalb von 120 °C wandelt sich Bariumtitanat in eine kubische Phase ohne Dipole um. Die Korngrenzladungen behindern jetzt den Übergang der undotierten Ladungsträger

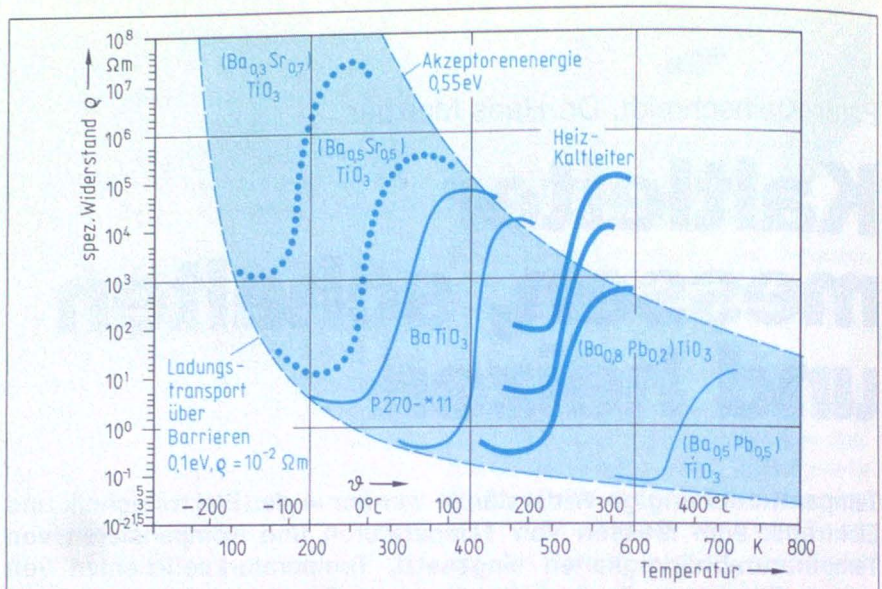


Bild 3. Durch Verändern der Zusammensetzung des Bariumtitanat-Kaltleiters läßt sich die Curietemperatur reproduzierbar zwischen −100 °C und +350 °C einstellen

von Korn zu Korn in vollem Maße. Der Widerstand steigt sprunghaft um drei bis sechs Zehnerpotenzen an. Einer weiteren Zunahme des Widerstandes sind natürliche Grenzen dadurch gesetzt, daß auch die Korngrenzladungen mit zunehmender Temperatur „ausgeheizt" werden und zur Leitfähigkeit beitragen.

Das Material zeigt außerdem den sogenannten Varistoreffekt, d. h. der Widerstand ist spannungsabhängig, er nimmt mit steigender Betriebsspannung ab. Dieses Verhalten ist auch theoretisch zu erwarten, da das abstoßende Feld der Sperrschichtladung durch das anliegende Feld verringert wird und dadurch eine größere Zahl von Ladungsträgern die Sperrschicht passieren kann.

Große Variationsmöglichkeiten

Das gute theoretische Verständnis für die Wirkungsweise war Voraussetzung für gezielte Materialforschung. Heute kann durch Verändern der Zusammensetzung die Lage der Curietemperatur zwischen −100 °C und +350 °C reproduzierbar eingestellt werden.

Bild 3 zeigt, wie der Einbau von Blei (Pb) auf Bariumplätzen die Curietemperatur erhöht, während Strontium (Sr) die Curietemperatur senkt. Für technische Anwendungen wird statt der Curietemperatur die Bezugstemperatur angegeben, die sich nur wenig von der Curietemperatur unterscheidet. Die Bezugstemperatur ist die Temperatur, bei der der Kaltleiterwiderstand sich gegenüber seinem Minimalwert verdoppelt hat. Der spezifische Widerstand des Kaltleiters läßt sich durch Vermehrung der an den Korngrenzen lokalisierten Ladungen vergrößern. Es gelingt, durch spezielle Sinterführung bei sonst gleicher Zusammensetzung hoch- oder niederohmige Kaltleiter zu züchten.

Spezielle Bauformen

Spezifische Anwendungen haben zu spezifischen Bauformen geführt. Einen Überblick geben die *Bilder 4* und *10* [3].

Steile Temperatursensoren

Der steile Anstieg in der Widerstand/Temperatur-Kennlinie läßt bereits erkennen, worin der besondere Vorteil dieses Bauelementes als Temperatursensor liegt, nämlich in der Überwachung einer fest vorgegebenen Grenztemperatur. Hier läßt der Kaltleiter sich mit geringem Aufwand für Meß- und Regelaufgaben nutzen. Für diese Anwendungen wurden spezielle Bauformen entwickelt; besonders zu nennen sind die Motorschutz-Kaltleiter. Sie werden als kleine Pillen gefertigt und gegen Hochspannung isoliert, so daß sie direkt in die Wicklung der Maschine eingebaut werden können. Die Bezugstemperatur wird so gewählt, daß bei der zulässigen Höchsttempera-

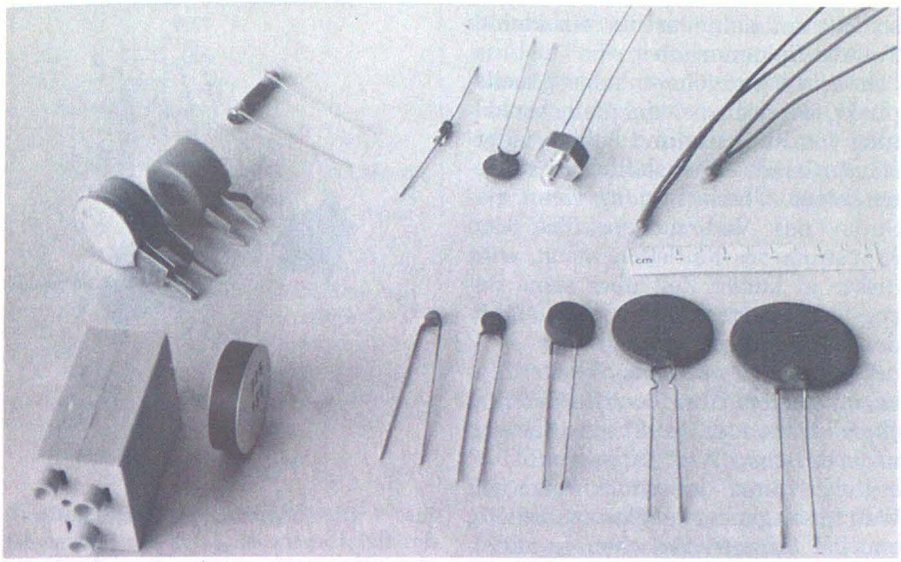


Bild 4. Kaltleiter-Bauformen für Meß- und Schaltaufgaben

tur des Motors der Kaltleiter in dem steilen Bereich seiner R/T-Kennlinie arbeitet. Erreicht wird dadurch eine besonders hohe Ansprechempfindlichkeit, die sehr einfache Auswerteschaltungen ermöglicht.

Der Kaltleiter regelt

Für die Anwendung des Kaltleiters ist folgender Effekt besonders interessant: Legt man einen Kaltleiter mit einem ausreichend niedrigen Kaltleiterwiderstand von 220 Ω an eine Spannungsquelle von 220 V, so wird eine elektrische Leistung von 220 W umgesetzt. Bei einem Volumen von 1 cm³ führt das zu einer Aufheizung von 50 °C pro Sekunde. Bei Überschreiten der Bezugstemperatur nimmt der Widerstand des Elementes sehr rasch zu, und der aufgenommene Strom geht im gleichen Maße zurück. Dieser Vorgang ist beendet, wenn die zugeführte elektrische Leistung keine Temperaturerhöhung mehr bewirkt, sondern gerade die durch Wärmestrahlung und Wärmeableitung entzogene Leistung deckt.

Aufgrund der außerordentlichen Steilheit der Widerstand/Temperatur-Kennlinie entspricht gemäß *Bild 3* eine Leistungsdrosselung um den Faktor 1000 einer Temperaturerhöhung von lediglich 20 °C (Varistoreffekt nicht berücksichtigt).

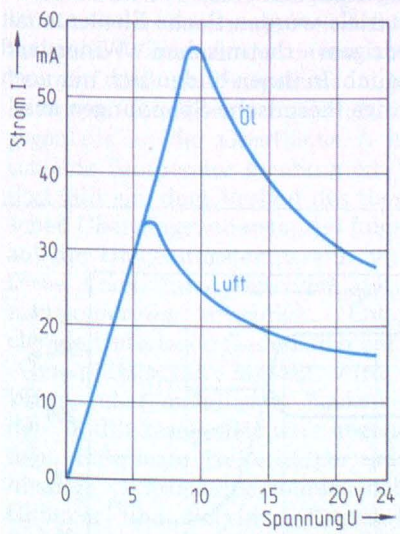


Bild 5. Stationäre Strom/Spannungs-Kennlinie eines Kaltleiters bei unterschiedlicher Wärmeabfuhr; beim Eintauchen in Öl erhöht sich der Strom durch den Kaltleiter

Zusammenfassend läßt sich festhalten: Ein von einer Spannungsquelle gespeister Kaltleiter stellt sich auf eine Temperatur knapp oberhalb seiner Bezugstemperatur ein. Die dabei aufgenommene elektrische Leistung regelt sich automatisch auf den Wert der dem Kaltleiter entnommenen Wärmeleistung.

Niveaukontrolle mit Kaltleitern

Die Regelfunktion des selbstheizenden Kaltleiters läßt sich auch zur Niveaukontrolle nutzen. Taucht das Element in ein Medium hoher Wärmeleitfähigkeit (meist eine Flüssigkeit), wird ihm mehr Wärme entzogen als beispielsweise in Luft. Der daraus resultierende Anstieg des aufgenommenen Stromes meldet den Eintauchzustand. *Bild 5* zeigt die Strom/Spannungs-Kennlinie eines Kaltleiter-Niveaufühlers für zwei verschiedene Wärmeableitbedingungen.

Auf diese Weise lassen sich sehr einfache Anordnungen zur Überwachung von Flüssigkeitsniveaus aufbauen. Bei diesen Anwendungen kommt es nur auf eine Ja/Nein-Aussage an. Ein Beispiel für eine solche Lösung ist die elektronische Überfüllsicherung von Heizöltanks, die seit vielen Jahren in großem Umfang mit Kaltleitern realisiert wird.

Bewegt sich das umgebende Medium relativ zum Kaltleiter, so wird diesem durch Konvektion zusätzlich Wärme entzogen. Als praktische Konsequenz ergibt sich daraus eine Meßmethode für die Strömungsgeschwindigkeit des Mediums [4].

Schaltverzögerung mit Kaltleitern

Wie schon erwähnt, erwärmt sich der Kaltleiter beim Anlegen einer genügend großen Spannung. Die Zeit, die bis zum Erreichen der Nenntemperatur vergeht, hängt bei gegebener Betriebsspannung hauptsächlich von der Wärmekapazität, der Temperaturdifferenz zwischen Bezugs- und Umgebungstemperatur und dem Kaltwiderstand des Elementes ab.

Praktisch lassen sich Verzögerungszeiten von 0,5 s bis zu wenigen Minuten realisieren. Damit hat man einen elektrischen Zeitschalter, der zwar große Toleranzen aufweist, jedoch als elektronisches Bauteil ohne bewegte Teile gegenüber den mechanischen Schaltern erhebliche Vorteile bietet. Für diesen Zweck werden Kaltleiter heute vor allem zur verzögerten Abschaltung der Hilfswicklung bei Kühlschrankmotoren, zur Steuerung der Lochmaskenentmagnetisierung von Farbfernseh-Bildröhren und in Zeitrelais [4] eingesetzt.

Stromstabilisierung mit Kaltleitern

Gemäß Bild 5 steigt der von einem Kaltleiter aufgenommene Strom zunächst proportional zur Spannung und nimmt nach Erreichen der Bezugstemperatur bei weiter steigender Spannung wieder ab. Schaltet man einen geeignet dimensionierten Kaltleiter in

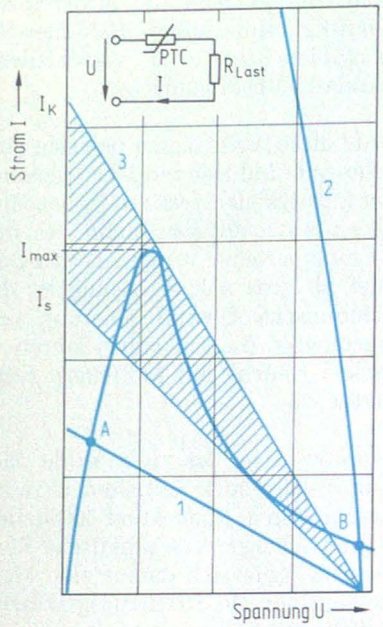


Bild 6. Der in Reihe zum Verbraucher liegende Kaltleiter regelt bei Überstrom den Strom auf einen unschädlichen Wert zurück

Serie zu einem anderen Bauelement, so wird dieses nach einem kürzeren Einschaltstromstoß unabhängig von der anliegenden Spannung mit annähernd konstantem Strom versorgt. Der Abfall des Stromes bei höheren Spannungen kann durch einen zum Kaltleiter parallel geschalteten Widerstand kompensiert werden.

Nach diesem Prinzip arbeiten z. B. die bekannten Spannungsprüfer für Spannungen von 4,5...380 V. Zwei antiparallele Leuchtdioden sind einfach mit einem Kaltleiter in Reihe geschaltet.

Überlastschutz durch Kaltleiter

Durch die Entwicklung von niederohmigen, netzspannungsfesten Kaltleitermaterialien ist man in der Lage, Kaltleiter mit kleinen Widerstandswerten und hohen Kippströmen (maximaler Strom der I/U-Kennlinie) zu bauen. Dabei wird das charakteristische Verhalten des Kaltleiters ausgenützt. Bei einem Strom, der unter dem Kippstrom liegt, erwärmt sich der Kaltleiter nicht auf die Bezugstemperatur und bleibt im Bereich niedrigen Widerstands. Schaltet man einen solchen Kaltleiter in Serie zu einem Verbraucher mit entsprechendem Nennstrom, so fällt am Kaltleiter nur ein kleiner Teil der Spannung ab.

In *Bild 6* bezeichnet A den Arbeitspunkt, der sich bei der Reihenschaltung von Kaltleiter und Arbeitswiderstand (Gerade 1) einstellt. Bei Auftreten einer Überlast, d. h. wenn der Strom des Verbrauchers über den Kippstrom des Kaltleiters steigt, wird dieser in kurzer Zeit über seine Bezugstemperatur erwärmt und geht in den hochohmigen Zustand über.

Das Element wirkt als Schalter, der bei zu starkem Absinken des Verbraucherwiderstandes den Strom auf einen ungefährlichen Wert (Arbeitspunkt B) begrenzt. Sinkt der Strom unter den Wert I_s, so schaltet das Gerät selbsttätig ein; bei Strömen zwischen I_K und I_s sind erst nach dem Abschalten des Gerätes und dem Abkühlen des Kaltleiters die ursprünglichen Verhältnisse wieder hergestellt.

Heizen mit Selbstregelung

Aufgrund der typischen Widerstands/Temperatur-Kennlinie des Kaltleiters bietet sich eine besonders elegante Anwendung an, bei der der Kaltleiter nicht nur als Sensor wirkt, sondern zugleich die Funktion des Heizens übernimmt. Im Kaltleiter ist also der gesamte Regelkreis einschließlich Sensor und Aktor vorhanden. Dies ist um so interessanter, nachdem es in den letzten fünf Jahren gelungen ist, die spezifische Heizleistung bis auf Werte von 1 kW je cm³ Kaltleitervolumen zu steigern.

Mitte der 70er Jahre wurden spezifische Heizleistungen um 100 W je cm³ Kaltleitermaterial umgesetzt. Einer Leistungssteigerung schienen zwei Faktoren im Wege zu stehen:

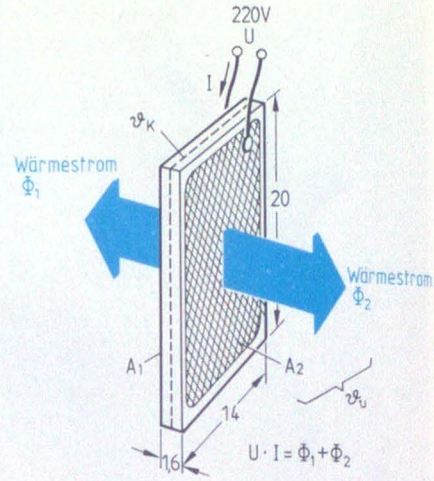


Bild 7. Die elektrische Heizleistung ($U \cdot I$) des Heizkörpers ist gleich der Summe der abgeführten Wärmeströme $\Phi_1 + \Phi_2$

- Die relativ geringe Wärmeleitfähigkeit des Materials von 0,025 W/(cm · K) erschwert die Auskoppelung großer Wärmeströme.
- Eine anomal große sprunghafte thermische Ausdehnung bei der Bezugstemperatur führt zum Materialbruch infolge thermischer Spannungen.

Mit den seinerzeit verfügbaren Kaltleitermassen mit niedrigem spezifischen Widerstand war an praktisch einsetzbare netzbetriebene Heizer mit mehreren hundert Watt Leistung nicht zu denken. Der Durchbruch gelang Siemens mit dem inzwischen in vielen Ländern patentierten Flachheizkörper aus hochohmigem Material. Durch den hohen Widerstand und die große Spannungsfestigkeit eines neu entwickelten Materials wurden flache Elemente mit niedrigem thermischen Widerstand möglich. In ihnen bilden sich nur noch geringe thermische Spannungen aus.

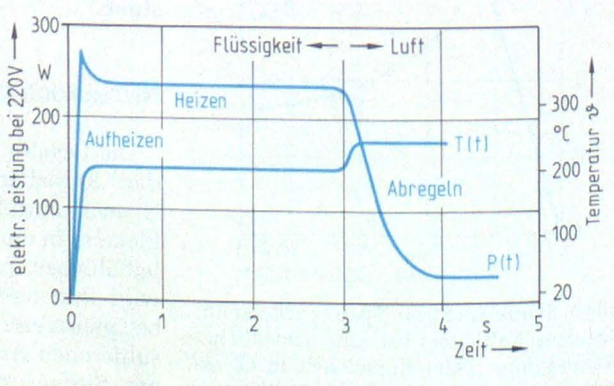


Bild 8. Zeitlicher Verlauf der Heizleistung P und der Heizertemperatur T eines flachen, in Wasser betriebenen Heiz-Kaltleiters. Nach 3 s wurde der Kaltleiter aus der Flüssigkeit gezogen; die Selbstregelung begrenzt die Temperatur und reduziert die Heizleistung

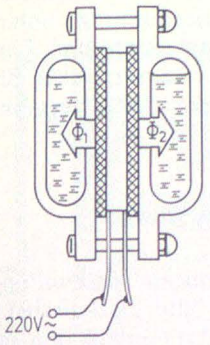


Bild 9. Querschnitt durch einen mit Heiz-Kaltleitern realisierten Durchlauferhitzer

Der Kaltleiter-Flachheizkörper

Typische Abmessungen zeigt *Bild 7*. Der Kaltleiter befindet sich in einem Medium guter Wärmeableitung, z. B. Wasser mit der Umgebungstemperatur ϑ_U. Der spezifische Widerstand der Kaltleiter ist so dimensioniert, daß sich bei Anlegen einer Wechselspannung von $U_{eff} = 220$ V eine in der Mitte des Kaltleiters verlaufende Kernschicht gerade auf die Bezugstemperatur aufheizt. Bei teilweisem Entfall des Wärmeentzugs (z. B. bei völliger Verdampfung des Wassers) stellt sich schnell das neue Gleichgewicht ein, wobei die Leistung stark gedrosselt wird und die Kaltleitertemperatur sich auf einen stabilen Endwert erhöht. Das Leistungsverhältnis liegt typisch zwischen 10 und 20 *(Bild 8)*.

Konstruktive Auslegung

Modellrechnungen und experimentelle Arbeiten haben ergeben, daß man bei guter Wärmeabfuhr davon ausgehen darf, daß die Temperatur im Kaltleiter von dem Kern ausgehend linear gegen die an der Oberfläche A herrschende Temperatur ϑ_A abnimmt. Von dort fällt sie, dem Verlauf des thermischen Übergangswiderstandes folgend, auf die Umgebungstemperatur ϑ_U ab. Diese Erkenntnis erleichtert die Dimensionierung erheblich. Entsprechende Unterlagen finden sich bei [5].

Im praktischen Einsatz wird die Wärme über metallische Backen von den Kaltleiteroberflächen abgenommen. Beigelegte Isolierkörper sollten niedrige Wärmewiderstände haben. Glimmer und Polyimid-(Kapton-)Folien haben sich bewährt sowie Scheiben aus Aluminiumoxid-Keramik. Der gesamte Schichtverbund aus Kaltleiter, Kontaktblechen, Isolierschichten und Wärmeleitungsbacken muß unter dauerndem Federdruck von mindestens 10 N/cm² stehen, damit ein guter Wärmeübergang auch bei thermischer Wechsellast gewährleistet ist. *Bild 9* zeigt einen Durchlauferhitzer als konstruktives Ausführungsbeispiel mit beidseitigem Wärmeentzug.

Kaltleiter bieten Sicherheit

Ein besonderes Argument für den Kaltleiter ist seine Sicherheit gegen Überhitzung. Steigt im Schadensfalle die Temperatur – aufgrund welcher Ursache auch immer – wesentlich über die Bezugstemperatur, so geht der Kaltleiter in den heißleitenden Zustand über und bildet in wenigen Millisekunden einen heißen, hochleitfähigen Strompfad aus, der die Geräte- oder Wohnungssicherung ansprechen läßt.

Bauformen und Anwendungsgebiete

Anwendungen finden die Heiz-Kaltleiter auf den Gebieten der Haushaltsgeräte (Warmwasseraufbereitungsgeräte, Haarcurler, Hairsetter), in der Installationstechnik (Heizölvorwärmung) und nicht zuletzt mit Niederspannungskaltleitern im Kfz (Gemischvorwärmung, Außenspiegel- und Türschloßheizung). Kaltleiterheizungen bieten gegenüber herkömmlichen Drahtheizkörpern folgende Vorteile:

- schnelles Aufheizen bei Inbetriebnahme,
- Abregeln der aufgenommenen Leistung nach Verdampfen der Flüssigkeit,
- Kompaktheit des Heizsystems infolge hoher Leistungsdichte der Kaltleiter,
- niedrige Systemtemperatur,
- vollständiger Schutz gegen Überhitzung,
- Zuverlässigkeit durch Wegfall mechanischer Regelelemente,
- keine elektromagnetischen Störungen.

Das *Bild 10* zeigt einige zur Zeit gebräuchliche Heiz-Kaltleiter sowie typische Heizanordnungen. Am meisten verbreitet sind zur Zeit rechteckige (oder auch runde) planparallele Kaltleiterscheiben mit einer Scheibendicke zwischen 1 mm und 2,5 mm und Bezugstemperaturen um 200 °C. Je nach dem gewünschten Heizeinsatz werden Kaltleiter mit Bezugstemperaturen zwischen −30 °C und +350 °C geliefert.

In welch komplizierten Formen das keramische Kaltleitermaterial hergestellt werden kann, zeigen die wabenförmigen Kaltleiter, die zur Erwärmung von strömender Luft angeboten werden.

Literatur

[1] *Haaymann, P. W.; Dam, R. W.; Klasens, H. A.*: Herstellung von Halbleitermaterial. D. B. P. 929350.
[2] *Heywang, W.*: Solid State Physics in Electronics and Telecommunication, Vol. 4 (1960).
[3] Siemens: Kaltleiter-Datenbuch 80/81.
[4] *Hanke, L.; Löbl, H.*: Funk-Technik 1968, Heft 5, S. 165...168.
[5] *Ott, G.*: Siemens Components 19 (1981), S. 56...59.

Stichworte zum Inhalt
Ferroelektrische Kaltleiter, PTC-Thermistor, Bariumtitanat, Widerstands/Temperatur-Kennlinie, Regelfunktion, Heiz-Kaltleiter, spezifische Heizleistung.

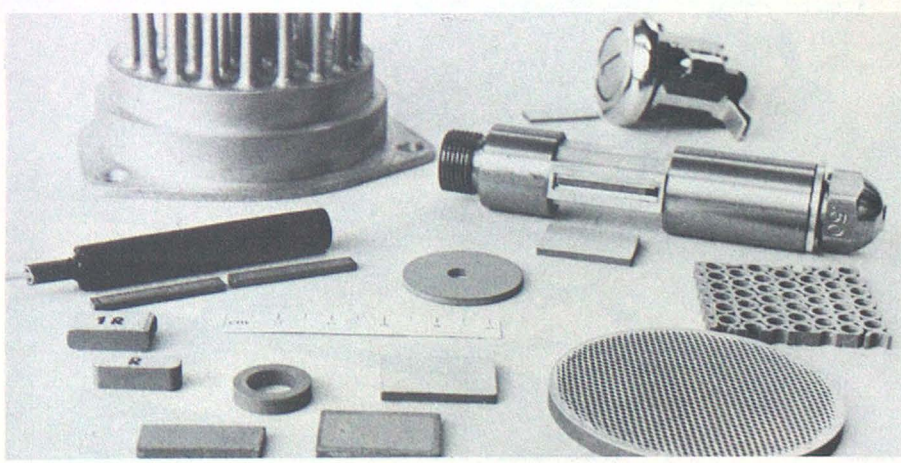


Bild 10. Es existiert eine Vielzahl von speziell an die Funktion angepaßten Heiz-Kaltleitern. Z. B. ist der Heizer rechts unten wabenförmig durchlöchert und eignet sich zum Aufheizen eines Luftstromes

Perspektiven der Büro-kommunikation

Das Terminal am Arbeitsplatz wird universell

In den kommenden Jahren werden elektronische Medien verstärkt in Büros einziehen, die heute noch durch Telefon, Schreibmaschine und zentral installierte mechanische Fernschreiber und Kopiergeräte geprägt sind. Erst seit Anfang der 60er Jahre zeichnet sich mit dem Vordringen der arbeitsplatzorientierten Computer und der Textverarbeitungssysteme ein Wandel des Büroarbeitsplatzes ab.

Folgt man den Prognosen, so wird die Bürowelt des Jahres 1985 in der Bundesrepublik Deutschland vorwiegend durch Terminals bestimmt sein, die in die Dienste der Deutschen Bundespost eingebracht werden: Neben Telefon und Telexgeräten sind das elektronische Fernsprech-Nebenstellenanlagen, Telefax-Geräte, Textnebenstellenanlagen und Teletexgeräte. Daneben werden konventionelle Schreibmaschinen zunehmend durch Textsysteme substituiert. Die vergleichsweise höchsten Wachstumsraten werden den Datenstationen zugeordnet: Die Zahl der Datenendeinrichtungen wird sich bis 1985 verfünffachen.

Entsprechend werden Kopiergeräte, Postbearbeitungsmaschinen, Diktateinrichtungen, Mikrofilmanlagen usw. eine höhere Verbreitung finden und weiterentwickelt werden. Es bietet sich das Bild einer durch die verschiedensten Techniken unterstützten Büroarbeit: Eine Ansammlung unterschiedlicher Komponenten und Einzelsysteme, wobei Ansatzpunkte für integrierte Lösungen kaum erkannt werden können.

Bild 1. Neue organisatorische Konzepte eröffnet das Nixdorf-Datentelefon. Diese Anlage bietet nicht nur komfortablen Telefonverkehr, sondern ermöglicht darüber hinaus von jedem Arbeitsplatz aus den direkten Dialog mit dem Computer

Mehr Effizienz im Büro

Wesentliche Kennzeichen künftiger Bürosysteme sind die Dezentralisierung einerseits und die Integration andererseits aller heutigen Einzelfunktionen: Telefonieren, Diktieren, Briefe schreiben, Texte erfassen, verarbeiten, vervielfältigen und verteilen, Dokumente übermitteln, Rechnen, Daten erfassen und verarbeiten, Archivieren usw.

Dies bedeutet aber eine Reduktion der technischen und organisatorischen Schnittstellen am Arbeitsplatz. Das Hauptziel der Integration besteht darin, das Nebeneinander von spezialisierten Gerätetypen mit den sich zum Teil überschneidenden Funktionen abzubauen. Die konventionelle Textverarbeitung mit Hilfe der Schreibmaschine, des Textautomaten und des Telexgerätes ist nur ein Beispiel hierfür. In Stufen wird sich das heutige „eindimensionale" Terminal zum mehrfunktionalen Arbeitsplatz entwickeln.

Vorgezeichnet wird der Trend zur Integration von der elektronischen Datenverarbeitung, wo sich das Endgerät für die dezentrale Datenerfassung und -verarbeitung immer mehr zum autonomen Terminal entwickelt. Die Textverarbeitung wächst in den Verarbeitungsverbund mit der Datenverarbeitung hinein.

Heute erkennbare Entwicklungen in der Datenverarbeitung und in ihrem unmittelbaren Umfeld lassen folgende neue Ansatzpunkte für die Informationsverarbeitung im Büro erkennen:

- Die Höchstintegration (VLSI) schafft die Voraussetzung für mehr dezentrale Intelligenz.
- Moderne Ausgabegeräte (Non-impact Drucker, intelligente Kopierer) ermöglichen eine hohe Druckqualität, Grafikdarstellung und ganz wesentlich – den arbeitsplatznahen Ausdruck.
- Sinkende Preise und steigende Speicherkapazitäten konventioneller Speicher sowie neue Massenspeicher (z. B. optische Speicher) können die klassische Ablage ablösen.

- Wesentlich verbesserte und komfortablere Mensch/Maschine-Schnittstelle, z. B. durch Spracheingabe.

Neue Dienstleistungen am Schreibtisch

Sind dezentrale Computerintelligenz und Kommunikationsmöglichkeiten am Arbeitsplatz verfügbar, werden eine Vielzahl von neuen Dienstleistungen vor Ort möglich. Hier sind als Beispiele zu nennen:

- automatische Wiedervorlage, Folgesteuerung und Terminlisten,
- unternehmensinterne Informationsdienste,
- aktuelles Telefonbuch mit Namenswahl,
- interne Bestellungen, Anträge und Abrechungen,
- Abwesenheitslisten,
- Abstimmung von Konferenzen mit den Belegungsplänen der Besprechungsräume.

Die Bereitstellung derartiger Dienstleistungen für den Büroarbeitsplatz hat zur Voraussetzung, daß die jeweiligen Funktionen möglichst einfach durch den Benutzer abgerufen werden können. Sie bedingen aber einen weitgehenden Informationsverbund zwischen den Systemen, der die eigentliche Basis für mehr Produktivität in der Büroorganisation darstellt. Effizienzgewinne sind zu erwarten

- durch die papierarme Kommunikation,
- die beschleunigte Interaktion und
- die verbesserte Informationsmöglichkeit am Arbeitsplatz.

Die entscheidenden Vorteile integrierter Lösungen sind aber darin zu sehen, daß damit die Weiterverarbeitung und Vielfachnutzung einmal im System gespeicherter Texte und Daten möglich wird. Sollte es mit künftigen Bürosystemen gelingen, einen Teil der heutigen Sprachkommunikation auf die Textkommunikation zu verlagern, wären daraus zusätzliche Effizienzgewinne zu erwarten. Der Informationsaustausch wird von der Anwesenheit des Nachrichten-Empfängers unabhängig (höhere Erreichbarkeit); die Information kann auf Wunsch abgerufen werden und führt nicht zu einer Unterbrechung des Arbeitsablaufes.

Aus historischen und gebührenpolitischen Gründen sind die öffentlichen Netze (Fernsprech- und Datennetze) und Dienste in der Bundesrepublik Deutschland voneinander getrennt.

Bild 2. Die Integration von Daten- und Textverarbeitung ist ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zu multifunktionellen Büro-Systemen. Das Textsystem Nixdorf 8840 kann an elektronische Datenverarbeitungsanlagen angeschlossen werden und mit ihnen „korrespondieren"

Auch im neuen Teletex-Dienst der Deutschen Bundespost wird es nicht gestattet sein, sinnvolle Übergänge zwischen der Text- und Datenverarbeitung zu realisieren. Dennoch zeichnen sich Übergäng zwischen den verschiedenen Netzen und Diensten ab, wie zum Beispiel

- die Mehrfachnutzung von Endgeräten im Bildschirmtextdienst,
- die denkbare Nutzung von Fernsprechnebenstellenanlagen als Vermittlungssystem für Teletex-Stationen,
- Zugänge zum Datex-P-Netz über das Fernsprech- und Datex-L-Netz oder
- Übergänge zwischen dem Telex- und dem Teletex-Netz (Datex-L-Netz) über einen Teletex-Telex-Umsetzer.

Schritte zum integrierten Büroarbeitsplatz

Beispiel: Datentelefon

Es gibt erst wenige Beispiele für eine Verbindung von zwei oder mehreren Bürofunktionen in einem Produkt. Ein Beispiel ist das Datentelefon der Nixdorf Computer AG (*Bild 1*), das als „intelligentes Telefon" durch eine Reihe von Peripheriegeräten ergänzbar ist und damit als Terminal für eine Datenverarbeitungsanlage fungieren kann und auch zur Textkommunikation geeignet ist. Dieses Konzept ermöglicht somit eine neue Art der Kommunikation, bei der die Kommunikationsformen „Sprache" und „Text" simultan realisiert werden können, d. h. die Partner sprechen per Telefon miteinander über einen Text, den sie beide auf ihren Bildschirmen sehen. Bei einer solchen „Mischkommunikation" können dem Gesprächspartner auch während des Telefonats Textinformationen zugeschrieben werden.

Beispiel: Verbundene Daten- und Textverarbeitung

Für den Verarbeitungsverbund von Text- und Datensystemen, der verfügbare Dateien von EDV-Systemen mit Textverarbeitungsleistungen zur Erstellung von Angeboten, Briefen und Verträgen verbindet, erscheinen die folgenden Ansatzpunkte praktikabel:

1. Erweiterung der Leistungsfähigkeit von Datenverarbeitungssystemen um bestimmte Textverarbeitungsaufgaben, indem für diese Systeme Textverarbeitungs-Softwaremodule bereitgestellt werden.

Beispiel hierfür ist das Nixdorf-Programmpaket Detas: Neben der integrierten Verarbeitungsleistung bietet Detas ergänzende Unterstützung bei

der Textkommunikation, der Projekt- und Terminbearbeitung und bei der Abwicklung des Schriftverkehrs.

2. Anschluß von Textverarbeitungsplätzen an Verarbeitungssysteme, die dem autonom arbeitenden Textplatz bestimmte Dateien (Anschriften usw.) zur Verfügung stellen.

Hierfür ist der Nixdorf-Bildschirmarbeitsplatz 8840/3 geeignet (*Bild 2*). Er kann über einen Kommunikationsprozessor die Ressourcen und Dateien einer DV-Anlage nutzen.

Beispiel: Intelligente Kopierer

Geräuscharme Ausgabegeräte sind Voraussetzung dafür, daß die Informationstechnik in das Büro eingebracht werden kann. Verfügen diese Drucksysteme über die Möglichkeit, Kopien zu erstellen bzw. Bilder und Grafiken mit Text zu mischen, bilden sie die Vorstufe zum intelligenten Drucker. Dieser kann neben codierten auch uncodierte Informationen (Telefax, Formulare, Briefköpfe, Unterschriften usw.) verarbeiten.

Die verschiedenen Drucktechnologien finden damit ihren gemeinsamen Nenner im „Intelligenten Kopierer", der seine Informationen aus den unterschiedlichsten Quellen (Datenverarbeitung, Textverarbeitung, Text- und Bildübertragung) erhält und sie über eine universelle Druckeinheit ausgibt.

Beispiel: Integrierte Vermittlungssysteme

Moderne, volldigitale Vermittlungssysteme sind die Voraussetzung für die integrierte Vermittlung von Sprache, Text, Daten und Bildern. Ein Beispiel ist das Nixdorf-Vermittlungssystem 8818.

Das Büro von morgen

Das Büro von morgen wird durch den Abbau der heute noch dominierenden Insellösungen in der Büroorganisation und die direkte Verarbeitung der Informationen am Arbeitsplatz gekennzeichnet sein. Auf mittlere Sicht wird der Sachbearbeiter über ein Mehrfunktions-Terminal verfügen, das zur Dateneingabe, Abfrage und Disposition (Materialwirtschaft, Buchhaltung, Terminüberwachung, Rechnen usw.) bereitsteht. Zusätzlich benötigte Informationen können von elektronischen Archiven und Sachgebietsdatenbanken abgerufen werden. Der interne und externe Schriftverkehr wird über Tastatur, Bildschirm und Textbearbeitungsmodule abgewickelt. Es können Bilder und Dokumente empfangen, verarbeitet und versandt werden.

Das modular konzipierte Terminal arbeitet im Verbund und autonom. Eventuelle Fehler des Systems beeinträchtigen die lokalen Funktionen nicht: Das System ist für den Anwender ständig verfügbar, die Verarbeitungsgeschwindigkeit wird von ihm bestimmt. Die freie Disposition über die gespeicherte Information wird letztlich nur durch die Sicherung der Daten vor unberechtigtem Zugriff und vor unbeabsichtigtem Verlust begrenzt.

Das elektronische Medium hat die Funktion eines Hilfsmittels und wird so zum „Intelligenzverstärker" des Sachbearbeiters. Parallel dazu wird es zur Vernetzung der verschiedenen Mehrfunktions-Terminals im Inhouse-Bereich kommen; das Inhouse-Netz stellt die Verbindung zu den öffentlichen Übertragungsnetzen her.

Künftigen Vermittlungssystemen wird dabei die Funktion zufallen, eine eindeutige Schnittstelle zwischen dem privaten und öffentlichen Bereich zu realisieren. Erst wenn der Reglementierungsanspruch der Deutschen Bundespost sich nur noch auf standardisierte Übertragungseigenschaften zwischen dem öffentlichen Netz und dem privaten Nutzungsbereich konzentriert, wird der erforderliche Gestaltungsrahmen für innovative Produktlösungen zur Verfügung stehen. Hauptaufgabe der Deutschen Bundespost sollte es sein, mit einer leistungsfähigen Infrastruktur (Netze und Basisdienste) die Grundlage für benutzergerechte Anwendungen bereitzustellen.

Stichworte zu Inhalt
Mehrfunktionale Arbeitsplätze, neue Dienstleistungen, papierarme Kommunikation, Datentelefon, intelligente Kopierer.

ICs für spezielle Anwendungen

Mit dem TV-Modulator MC1374 im 14poligen Dual-In-Line-Gehäuse ergänzt Motorola sein Spektrum von Schaltkreisen für Rundfunk- und Fernsehanwendungen. Der neue Baustein erzeugt aus dem FBAS-Signal und dem Begleitton das vollständige hochfrequente Fernsehsignal. Sein Einsatzschwerpunkt wird bei den Fernseh-Zusatzgeräten, z. B. Videorecordern oder Bildplattenspielern, gesehen.

Der MC1374 enthält alle für die Modulation notwendigen aktiven Komponenten: FM-Tonmodulator, Oszillatoren für Bild- und Tonträger sowie den Hf-Modulator mit zwei Eingängen. Für die Einstellung der Trägerfrequenzen und der Modulationstiefe sind nur wenige zusätzliche Bauelemente notwendig. Mehrkanal-Betrieb ist ebenfalls leicht möglich. Wird eine besonders hohe Frequenzkonstanz verlangt, dann läßt sich der Tonträger-Oszillator über eine externe AFC-Nachstimmschaltung stabilisieren.

Für einen Frequenzhub von 16 kHz reichen am Nf-Eingang 100 mV aus. Durch die direkte Modulation des Tonträgers liegt der Klirrfaktor unter 0,5 %. Über die interne Arbeitspunkteinstellung kann der Tonträger-Oszillator zum Beispiel für die Abstimmung des Ausgangskreises abgeschaltet werden. Der Bezugspegel für das Videosignal wird von außen bestimmt: Damit lassen sich sowohl positive als auch negative Synchronsignale mit einem Dynamikbereich bis zu 2 V verarbeiten. In diesem Bereich wird die Ausgangslinearität mit 2 % (typisch) angegeben, während die Trägerunterdrückung 40 dB beträgt.

Der neue integrierte Zf-Baustein MC3359, ebenfalls von Motorola, im 18poligen DIL-Gehäuse benötigt nur 3 mA bei einer Versorgungsspannung von 6 V. Mit wenigen externen Bauelementen läßt sich damit der gesamte Zf-Teil eines Schmalband-FM-Empfängers aufbauen. Dazu enthält der MC3359 alle aktiven Komponenten: Oszillator, Mischstufe, sechsstufigen Begrenzer-Verstärker, Quadratur-Diskriminator sowie Rauschsperre und Stummschalter. Der Diskriminator liefert die Nachstimmspannung für den Colpittsoszillator zur automatischen Scharfabstimmung (AFC) sowie eine Steuerspannung für die Bandüberwachung und den Sender-Suchlauf.

Der MC3359 ist primär für den Einsatz in schmalbandigen FM-Bandüberwachungsempfängern zur Sprachübertragung vorgesehen. Seine Eingangsempfindlichkeit ist mit 2 µV für −3 dB Begrenzung ungewöhnlich hoch. Das 455-kHz-Bandfilter zur Zf-Selektion wird extern zugeschaltet.

Dr. Ing. Gerhard Mai

Vom Telegramm zu Teletex

Moderne elektronische Korrespondenz

Mit der Eröffnung des Teletex-Dienstes der Deutschen Bundespost im März dieses Jahres sind für die elektronische Korrespondenz weitere Entwicklungsmöglichkeiten geschaffen worden. Im folgenden Beitrag wird beschrieben, wie dieser neue Textkommunikations-Dienst im Zusammenhang mit den bisherigen und weiteren Arten der „Electronic Mail" zu sehen ist und welche Bedeutung er für die zukünftige Abwicklung der Korrespondenz im kommerziellen und privaten Bereich erlangen kann.

Im Rahmen der Telekommunikation spielt die Übermittlung schriftlicher Nachrichten seit jeher eine besondere Rolle. Vom Volumen und ihrer Bedeutung für die zwischenmenschlichen Beziehungen her dominiert nach wie vor die Kommunikation in Form von Sprache. Dem entspricht auch das inzwischen auf über 500 Mio. Sprechstellen in aller Welt angewachsene Telefonnetz. Dennoch zeigt die ständig steigende Papierflut, die uns in allen Lebensbereichen überschwemmt, daß der Raum und Zeit überwindenden Form „schriftlicher" Informationen ein starker Bedarf zugrunde liegen muß. Texte, grafische Darstellungen und Bilder lassen sich speichern und transportieren.

Untersuchungen in der Bundesrepublik Deutschland haben Mitte der 70er Jahre ergeben, daß von dem Gesamtvolumen von 42 Mio. abgehenden Sendungen täglich etwa 38 % auf den Bereich Wirtschaft und Verwaltung entfallen. Von diesem Teil der Sendungen sind 58 % schon heute für fernmeldetechnische Übermittlung geeignet (*Bild 1*). Diese Möglichkeiten werden aber bisher nur zu einem sehr geringen Teil wirklich genutzt. Teletex und andere neue Textkommunikations-Dienste können neben den schon existierenden dazu beitragen, die immer teurer werdenden materiellen Brieftransport-Dienste stärker zu entlasten.

Die Grundzüge der elektrischen Telegrafie

Da auch eine akustische/optische Telegrafie des Altertums ihre Grenzen hatte, begann erst im vorigen Jahrhundert mit der Nutzung des elektrischen Stromes für das Telegrafieren ein neues Zeitalter. In den ersten hundert Jahren erbrachten Forschergeist und Ingenieurdenken, gekoppelt mit feinmechanischer Perfektion und Fortschritten der Werkstoff-Technologien, schon beachtliche Leistungen von Telegrafie-Netzen. Man hatte bald erkannt, daß nicht nur die Telegrafen-Apparate, sondern auch das Leitungsnetz für die Reichweite, die Zuverlässigkeit, die Übertragungsgeschwindigkeiten usw. bei der Telegrafie eine große Rolle spielen. Durch Anpassung von Endgeräten und Leitungsnetze gelang es immerhin, über Kontinente hinweg und mit Geschwindigkeiten bis zu 17 Zeichen pro Sekunde zu telegrafieren. Auch die Bildtelegrafie – die bildpunktweise Übermittlung von Schwarzweiß-Vorlagen – reicht schon in diese Anfangszeiten zurück.

Die beschriebenen und die folgenden Betrachtungen zeigen, wie sich die Telegrafie – auf immer gleichbleibenden Prinzipien aufbauend – sowohl in ihrer technischen Realisierung als auch in der daraus ableitbaren Nutzung durch die Menschen in der Spitzengruppe moderner Fernmeldetechnik entwickelte.

Fernschreiben statt Telegrafieren

Bis vor etwa 50 Jahren war das Telegramm im Rahmen der Post-Dienste die einzige für jedermann zugängliche Möglichkeit der schriftlichen Nachrichtenübermittlung durch Draht- und Funkverbindungen. Für Behörden bestanden separate Telegrafie-Netze, deren Einrichtungen durch Spezialisten bedient werden mußten. Hier brachten

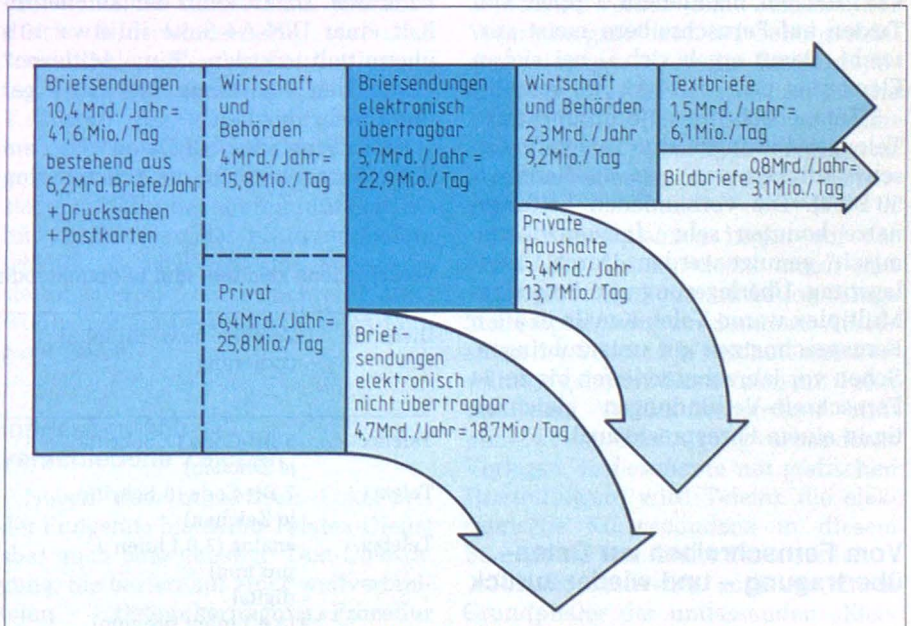


Bild 1. Für mehr als 20 % der anfallenden Briefsendungen (Stand 1978) bieten sich elektronische Textübertragungsmöglichkeiten an

zwei Entwicklungen einen entscheidenden Fortschritt. Zum einen wurde aus dem Telegrafenapparat eine Fernschreibmaschine, die nach kurzer Übung auch vom Büropersonal bedient werden konnte, und zum anderen benutzte man auch statt festgeschalteter Leitungen zwischen den Endgeräten Selbstwähl-Netze, ähnlich wie sie für die Telefonie eingeführt worden waren.

So entstand 1933 nach Vorschlägen von Siemens und Halske in Deutschland das erste öffentliche Fernschreibnetz der Welt. Neben der Deutschen Reichspost erkannten bald auch andere Postverwaltungen in Europa die Bedeutung dieser unter dem Begriff „Telex" sich entwickelnden elektrischen Tele-Korrespondenz. Für ihre Ausbreitung wurde ein dritter Faktor von überragender Bedeutung: die internationale Normung der im Telex-Dienst verwendeten Zeichen, Verbindungsprozeduren, Übertragungsverfahren usw. Sie bildete nicht nur die Grundlage für heute über 1,3 Mio. Telex-Teilnehmer in allen Ländern der Welt, sondern auch ein Musterbeispiel für ein ökonomisch optimal ausgelegtes Fernmeldeverfahren.

Mit nur fünf binären Schritten je Zeichen und einem Umschaltzeichen für zwei Ebenen gestattet das internationale Telegrafenalphabet Nr. 2 bei Telex die Übermittlung der üblichen lateinischen Schrift. Zahlen und Satzzeichen in Groß- oder Klein-Schreibung. Die Zeichenfolge wurde auf 400 Zeichen/Minute festgelegt, eine Geschwindigkeit, die bei manuellem Tippen von Texten auf Fernschreibern meist ausreicht. Damit ergab sich – bei sieben Elementen pro Zeichen (1 Startschritt – 5 Zeichenschritte – 1 Stopschritt) für Telexverbindungen eine Telegrafie-Geschwindigkeit von nur 50 Baud (≙ 50 Bit/s). Die vorhandenen Leitungsnetze konnten sehr „frequenzökonomisch" genutzt werden. Durch Unterlagerung, Überlagerung und Frequenz-Multiplex waren Telex-Kanäle in allen Fernsprechnetzen gut unterzubringen. Schon vor Jahrzehnten liefen bis zu 24 Fernschreib-Verbindungen gleichzeitig in einem Fernsprechkanal.

Vom Fernschreiben zur Datenübertragung – und wieder zurück

Seit in den fünfziger Jahren die Computer ihren Siegeszug mit elektronischer (digitaler) Technologie begannen, standen der Datentechnik die Telegrafie-Prinzipien zur Seite. Ein- und Ausgabe-Terminals wie z. B. Bedienungs-Blattschreiber oder Lochstreifengeräte aus der Fernschreibtechnik stellten die Verbindung der Computer mit ihrer Umwelt her. Auch einige der ersten Datenfernverarbeitungs-Systeme nutzten für die Datenübertragung das Telex- oder andere Telegrafie-Netze.

Soweit bei der Datenübertragung das konventionelle Fernsprechnetz – das für analoge Signale konzipiert ist – benutzt wird, sorgen zusätzliche Modems dafür, daß die Datenströme entsprechend umgesetzt werden. Gegenüber dem Telex-Code mit seinen fünf Bit pro Zeichen benutzt man für Daten zur Erhöhung des Zeichen-Vorrats und der Übertragungs-Sicherheit meist einen 8-Bit-Code (sieben Bit für das Zeichen und ein Parity-Bit, s. *Tabelle*).

Um die gegenüber Telex höhere Zeichenschrittmenge auszugleichen und die Zahl der Zeichen pro Sekunde bei Datenübertragung den hohen Verarbeitungsgeschwindigkeiten der Computer anzunähern, wurden die Schrittgeschwindigkeiten im Netz erhöht. Von 200 Bit/s stieg mit den Fortschritten der Telegrafie-Übertragungstechnik die praktikable Geschwindigkeit bis auf etwa 4800 Bit/s in Fernsprechwählnetzen, 9600 Bit/s in Telegrafie-(Daten-)Wählnetzen und über festgeschaltete Leitungen bis in den MBit/s-Bereich an. Für den Anschluß von Bildschirm- oder Drucker-Terminals ist heute eine Geschwindigkeit von 2400 Bit/s weit verbreitet. Damit kann der Zeicheninhalt einer DIN-A4-Seite in etwa 10 s übermittelt werden. Ein „Mitlesen" durch den Menschen ist dabei gar nicht mehr möglich.

Daher ging man bei Daten von dem beim Fernschreiben oft praktizierten direkten Dialog-Betrieb – z. B. von der Sende-Tastatur auf den Empfänger-Drucker – ab und tauscht Blöcke mit stets gleicher oder variabler Zahl von Zeichen (Daten) zwischen Sende- und Empfangs-Zwischenspeichern aus. Ein Verfahren, das allerdings auch beim Fernschreiben – durch Lochstreifen- oder Magnetband-Zusätze – schon häufig angewendet wurde. Bei so viel „technischer Seelenverwandtschaft" zwischen Fernschreib- und Datenverkehr ist es nicht verwunderlich, daß die verbesserten Leistungsmerkmale der Datenübertragung – z. B. bei dem Code, der Übertragungs-Geschwindigkeit – Sicherheit und Prozedur – auch auf die Fernschreib-Einrichtungen zurückwirkten.

Zunächst waren es Fernschreib-Sondernetze, z. B. für Luftverkehr, Banken usw., bei denen durch die Mischung von Text- und Datenübermittlung Endgeräte und Netz-Einrichtungen in elektronischer Technik für beide Kommunikationsformen gleichermaßen genutzt wurden. Beim öffentlichen Telexdienst, bei dem über die Hälfte der Teilnehmer mit hohen Zuwachsraten auf die außereuropäischen Länder verteilt sind, war und ist auch in Zukunft die internationale Telex-Norm mit Rücksicht auf das große weltweite Investment beizubehalten.

Der technologische Wandel des letzten Jahrzehnts hat aber auch hier dazu geführt, daß in steigendem Maße vollelektronische Fernschreiber mitten in Büros und volldigitale, rechnergesteuerte Vermittlungs- und Übertragungs-Einrichtungen im Netz den Telex-Teilnehmern mehr Komfort und Leistung bei der Abwicklung des konventionellen Fernschreibverkehrs bieten.

Einen entscheidenden Schritt in Richtung einer umfassenden „elektronischen Korrespondenz" für den mo-

Verschiedene zeichen- und bildpunktcodierte Textübertragungsarten im Vergleich

Dienstart	Zeichen- bzw. Bildpunkt-codierung	Datenmenge pro DIN-A4-Seite	Übertragungs-dauer
Teletex	5-Bit-Code (7 Schritte je Zeichen)	15 000 bit	5 min
Teletex	7-Bit-Code (8 Schritte je Zeichen)	16 000 Bit	7,2 s
Telefax	analog (3,8 Linien pro mm)	$9{,}3 \cdot 10^5$ Bildpunkte	3 min
	digital (3,8 Linien pro mm)	$1{,}7 \cdot 10^5$	42 s*)
	(7,7 Linien pro mm)	$3{,}4 \cdot 10^5$	84 s*)

*) bei 4800 Bit/s

dernen Bürobetrieb konnte aber nur ein neuer, international standardisierter Dienst für den Textverkehr bringen: „Teletex".

Teletex-Grundlagen und Konsequenzen

Telex kann nach wie vor Text-Nachrichten – meist knapp formuliert – sehr ökonomisch weltweit übermitteln. Die Endgeräte bieten seit Jahrzehnten schon Text-Bearbeitungs-Funktionen (z. B. durch Lochstreifenzusätze) und werden sich in dieser Richtung auch noch weiter entwickeln. Sie haben nur einen Nachteil: Man kann auf ihnen keinen üblichen Schreibmaschinen-Brief schreiben bzw. empfangen, weil sie nur auf Groß- oder Kleinschreibung ausgelegt sind. Die Telex-Fernschreiber ersetzen keine Büroschreibmaschinen (*Bild 2*).

So entstand in Deutschland, dem Ausgangsland von Telex, wie seinerzeit auf Initiative von Siemens in Zusammenarbeit mit der Deutschen Bundespost und anderen interessierten Gremien, später vor allem beim CCITT, der Gedanke, den Fernschreiber zu einer „Fern-Schreibmaschine" zu erweitern, die alle Möglichkeiten einer modernen, elektronischen Büro-(Speicher-)Schreibmaschine mit der Fernübertragung des entsprechenden großen Zeichenvorrats kombiniert. Dieses zunächst als „Büro-Fernschreiben" bezeichnete, später in der internationalen Standardisierung durch den CCITT „Teletex" genannte Konzept für einen öffentlichen, jedermann zugänglichen Text-Kommunikationsdienst eröffnet der elektronischen Korrespondenz ein breites Anwendungsfeld.

Die Endgeräte für den Teletex-Dienst können und werden in der Zukunft die Schreibmaschinen überall dort ersetzen, wo Schriftstücke mit Texten nicht nur lokal erstellt, sondern mehr oder weniger weit entfernter Adressaten übermittelt werden sollen. Dies fängt im internen Bereich von Büro zu Büro als „elektronische Hauspost" an und setzt sich beim Schriftwechsel zwischen internen oder externen Partnerstellen am gleichen Ort oder in anderen Ländern fort. Der Teletex-Dienst bietet auch die Möglichkeit, durch Querverbindungen zum Telexnetz mit dessen 1,3 Mio. Teilnehmern in der Welt im Telex-Format zu korrespondieren. Das schafft günstige Startbedingungen für die ersten Teletex-Teilnehmer und wird die Verbreitung fördern.

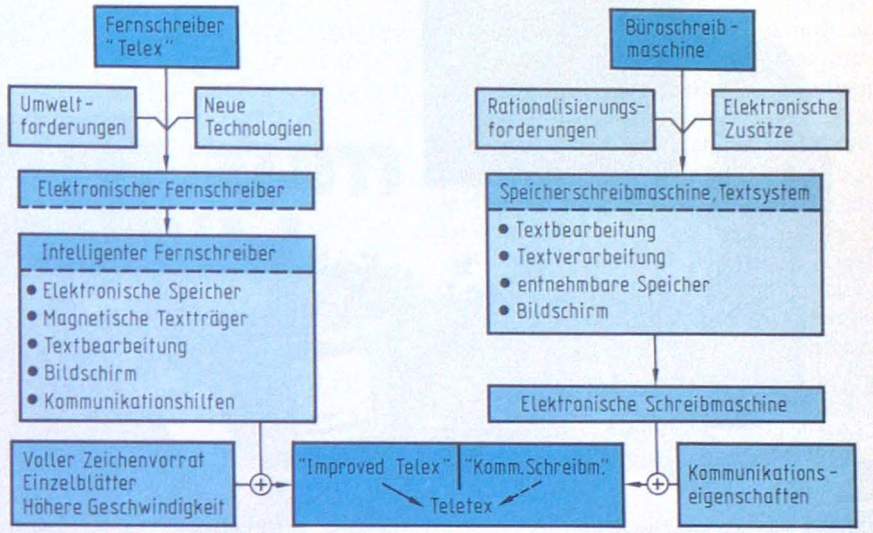


Bild 2. Der Fernschreiber und die Büroschreibmaschine haben sich im Laufe der Zeit, bedingt durch neue Technologie, Rationalisierungsforderungen u. a., aufeinander zuentwickelt. Als Symbiose entstand Teletex

Die Teletex-Normen trennen die „lokalen" Schreibfunktionen zur Text-Erstellung (Schreibmaschine) von den Übertragungs-Funktionen (Fernmeldenetz) so weit, daß dem Hersteller von Endgeräten ein weiter Spielraum für die Gestaltung des lokalen Teiles zur Anpassung an Benutzer-Wünsche bleibt. Während Telex-Fernschreiber relativ uniforme Geräte sind, ist bei Teletex-Endgeräten eine große Vielfalt auch sehr unterschiedlicher Ausführungen möglich und im Angebot zu erwarten. Es können sehr kompakte, wie moderne Speicherschreibmaschinen wirkende Geräte sein, die auch durch Bildschirmzusätze für noch komfortablere Textbearbeitung erweitert werden können – so z. B. Siemens T 4200/40 (*Bild 3*). Es gibt aber auch Endgerätekonzepte auf der Basis von größeren Text-Be-/Verarbeitungs-Systemen, Mehrplatzkonfigurationen, bis hin zu Systmen der mittleren Datentechnik. So wird es für fast jedes Ausstattungs-Profil eines Schreibplatzes wohl auch ein passendes Teletex-Endgerät geben.

Insgesamt 300 verschiedene Zeichen

Neben dem attraktiven Lokal-Teil der Endgeräte bietet der Teletex-Dienst aber auch eine günstige Text-Übertragung. Sie basiert auf einer weitverbreiteten Datenübertragungs-Prozedur (HDLC-Protokoll) mit hoher Sicherheit gegen Übertragungsfehler im Netz. Der Teletex-Code wurde vom CCITT so festgelegt, daß neben allen im lateinischen Sprachraum üblichen Zeichen insgesamt über 300 verschiedene Zeichen zur Verfügung stehen, um auch nationale Besonderheiten berücksichtigen zu können.

Die normale Zeichengeschwindigkeit ist auf 2400 Bit/s, d. h. 300 Zeichen/s festgelegt worden. Durch zusätzliche Steuer-/Überwachungszeichen des HDLC-Protokolls vermindert sich die effektive Informations-Zeichen-Geschwindigkeit um maximal 10 %. Damit kann dann der Text einer DIN-A4-Seite in etwa zehn Sekunden übertragen werden (ohne Zeitanteil für Verbindungsaufbau). Bei Gebührensätzen, wie sie z. B. in der Bundesrepublik dafür festgelegt sind, kostet die Übermittlung dieser Seite von Garmisch bis Kiel tagsüber 19 Pfennige, zu Nachttarifen sogar nur 11 bzw. 9 Pfennige.

Die Konsequenzen liegen auf der Hand. Der durch Teletex intern und weltweit textkommunikationsfähige Schreibplatz wird zur Standard-Ausrüstung der Büros in Wirtschaft und Verwaltung gehören. Zusammen mit Telex und dem Telefax-Dienst (zur bildpunktweiten Übertragung vorhandener Vorlagen, insbesondere mit grafischen Darstellungen) wird Teletex die elektronische Korrespondenz in diesem Bereich auf eine breite Basis stellen.

Teletex wird aber auch zu einem Grundpfeiler der umfassenden „Electronic Mail", der „elektronischen Briefpost" generell. Die CCITT und andere beteiligte Normungsgremien stre-

Bild 3. Die Teletex-Station T 4200/40 von Siemens ist sowohl mit einem Drucker als auch mit einem Sichtgerät ausgestattet. Dadurch ist die Einrichtung gleichermaßen für Textbearbeitung und -übermittlung geeignet

ben nämlich an, die Codierung der Zeichen bei Bildschirmtext mit dem Teletex-Code zu harmonisieren. Da Bildschirmtext auch im privaten Haushalt – mit Hilfe des Telefons und des Fernsehempfängers – für den Abruf oder Austausch von Informationen bzw. Text-Nachrichten breite Anwendung finden wird, ist hier ein wichtiger Brückenschlag für die elektronische Korrespondenz zwischen dem privaten und dem kommerziellen Bereich im Gange.

Teletex in der Praxis

Bei einem solchen Teletex-Konzept, das Millionen Arbeitsplätze in Büros berührt, sind neben technischen Problemen auch die Belange der Menschen, die damit umgehen sollen, zu berücksichtigen. Es genügt technisch keineswegs, etwa eine elektronische Schreibmaschine „nur" mit einem Kommunikations-Zusatz auszustatten. Die internationale Kompatibilität muß auch bei den Schreibmaschinen-Moduln berücksichtigt werden, damit jedes vom Absender in einer bestimmten Position auf der DIN-A4-Textseite (im Längs- oder Querformat!) geschriebene Zeichen auch beim Empfänger genau wie beim Absender so abgedruckt wird. Hierzu gehören automatische Abläufe im Endgerät ebenso wie zusätzliche Bedienungsfunktionen.

Damit aber die Arbeit an den Endgeräten für das Bedienungspersonal nicht zu kompliziert wird, wurde z. B. bei der Entwicklung der Siemens-Textstationen T 4200 auf eine möglichst einfache Bedienbarkeit und ergonomische Gestaltung großer Wert gelegt. Umfangreiche Praxistests und Feldversuche – zum Teil mit Unterstützung von Hochschul-Instituten – brachten wertvolle Erkenntnisse über die Einsatzbedingungen dieser neuen Kommunikations-Arbeitsplätze. Mit Hilfe der verfügbaren hochintegrierten Bauelemente- und Mikrocomputer-Technik konnten mit relativ einfachen Bediener-Funktionen eine Vielzahl von wertvollen Leistungsmerkmalen bei der Text-Bearbeitung und -Übermittlung realisiert werden. Z. B. vereinigen die Textstationen T 4200 die Funktionen von vier verschiedener Geräte-Typen in einem:

- Eine elektrische Schreibmaschine (für direktes „Tippen"),
- eine elektronische Speicher-Schreibmaschine (für komfortable Text-Bearbeitung),
- ein Teletex-Endgerät (für universelle Text-Übermittlung im Teletex-Dienst) und
- ein Telex-Endgerät (für Fernschreiben im Telex-Format).

Diese und andere Lösungen sind auch ein Beweis dafür, daß internationale Normung keineswegs als Hindernis für Fortschritte bei der individuellen technischen Lösung oder für anwenderfreundliche Gestaltung von Kommunikations-Endgeräten wirkt.

Teletex-Verkehr ist möglich und wird große Bedeutung bekommen im Bereich der Nebenstellenanlagen für internen Sprach- und/oder Textverkehr. Das öffentliche Fernsprechnetz läßt sich durch Modems für Teletex ebenso nutzen wie die je nach Land verschiedenen Arten von Datennetzen, soweit sie synchrone Datenübertragung mit 2400 Bit/s zulassen. Obwohl Daten-Wählverbindungen mit Durchschaltung zwischen den Endstellen – wie sie z. B. im IDN (Integriertes Fernschreib- und Datennetz) der Deutschen Bundespost möglich sind – für die Übertragung der meist mehr als tausend Zeichen pro Seite optimale Bedingungen für den Teletex-Verkehr bieten, lassen sich auch Datennetze mit virtuellen paket-orientierten Verbindungen dafür nutzen. Damit wird erreicht, daß nach der Bundesrepublik Deutschland, wo der Teletex-Dienst vor wenigen Monaten eröffnet wurde, in anderen Ländern bald ebenso der Teletex-Verkehr möglich werden wird.

Ausblick

Die geschilderten Merkmale und Einsatzfelder für Teletex-Endgeräte im Rahmen dieses neuen, standardisierten und sich weltweit entwickelnden Textkommunikations-Dienstes werden für die Verbreitung von elektronischer Korrespondenz von großer Bedeutung sein. Dies wird bei richtigem Gebrauch durch die Anwender dazu führen, den Menschen bei seiner Arbeit durch einfache und schnelle Kommunikation mit seinen Partnern zu unterstützen und deren Effektivität zu steigern. Hier liegt noch eine wesentliche Aufgabe, die Hersteller, Benutzer und Betreiber von Teletex-Einrichtungen am besten gemeinsam lösen können.

Stichworte zum Inhalt
Teletex, Textkommunikation, immaterieller Transport von Schriftgut, Übertragungsprozedur, Übertragungsgeschwindigkeit, integriertes Fernschreib- und Datennetz

Charles Schepers

Auf dem Weg zum digitalen TV-Bildschirmspeicher

Fernsehbilder ohne Flimmern und Rauschen

Am Anfang der Entwicklung eines Farbfernsehgerätechassis, dessen Schaltungskonzept weitgehend auf Digitaltechnik basiert, stehen selbstverständlich wirtschaftliche Überlegungen. Schon das Blockschaltbild für ein solches Konzept läßt ahnen, wie groß der nächste Integrationsschritt sein könnte und wieviel diskrete Bauelemente sich dabei einsparen lassen. Eine überschlägige Rechnung bei ITT führte zu einer Einsparung von 310 diskreten Bauelementen: 80 im Farbdecoder, 70 bei den Ablenkstufen, 60 im Tonteil und 100 bei der Bedienungseinheit.

Das Blockschaltbild *(Bild 1)* macht deutlich, daß der Weg zur Digitalisierung gewissermaßen vorgezeichnet ist: Nachdem die Frequenzsynthese bei der Senderabstimmung künftig als Standardlösung mit einem Mikroprozessor erfolgt, kann diese CPU bei geeigneter Auslegung auch die Steuerung der übrigen Stufen einer digitalen Signalverarbeitung übernehmen.

Interessanter für den Fernsehteilnehmer sind die Vorteile, die er von der „Digitalisierung" erwarten kann. ITT sieht in diesem Zusammenhang vor allem folgende Möglichkeiten:

- Durch Korrelationsverfahren können Rauschanteile in der Bildinformation erkannt und von dieser getrennt werden. Damit ergeben sich technische Lösungen für eine außerordentlich effiziente Rauschunterdrückung.
- Digitale Speicher für ein Vollbild bieten die Möglichkeit, durch Erhöhung der Bildwechselfrequenz das Flächen- und Kantenflimmern auf dem Bildschirm zu unterdrücken.
- Bei der sich abzeichnenden digitalen Tonübertragung können die empfangenen Signale direkt verarbeitet und somit die Wiedergabequalität erhöht werden.
- Die Gerätebedienung läßt sich vereinfachen.

Technische Voraussetzungen für ein flimmerfreies Fernsehbild

Die Bildwechselfrequenz beim Fernsehen nach CCIR-Standard beträgt 25 Bilder pro Sekunde. Vom Film her ist bekannt, bei einer Bildwechselfrequenz von 24 Bildern pro Sekunde je Bild zusätzlich zwei Schwarzblenden einzuführen. Das entspricht einer scheinbaren Bildwechselfrequenz von $24 \times 3 = 72$ Hz. Sie ist erforderlich, um auch bei Bildpartien mit großer Helligkeit einen flimmerfreien Bildeindruck zu erhalten.

Auf das Fernsehen übertragen, müßte mit $25 \times 3 = 75$ Hz eine vergleichbare Bildwechselfrequenz angestrebt werden. Damit werden zwei Arten von Bildflimmern vermieden:

1. Das Flächenflimmern, das auf Bildpartien mit größerer Helligkeit sichtbar ist (typisches Beispiel: die Eisfläche bei der Übertragung von Eishockey-Spielen).

2. Das Kantenflimmern, das durch die unterschiedliche Zeilenlage der beiden Halbbilder entsteht (typisches Beispiel: der „Karomustereffekt" auf dem Anzug des Nachrichtensprechers).

Wenn man nun beide Arten von Bildflimmern beseitigen will, muß jeweils ein Vollbild (625 Zeilen) mit einer Vertikal-Ablenkfrequenz von 75 Hz auf den Bildschirm geschrieben werden *(Bild 2)*. Das bedeutet eine Horizontal-Ablenkfrequenz von 625×75 Hz = 46 875 Hz. Die Möglichkeit, drei Vollbilder auf den Bildschirm zu

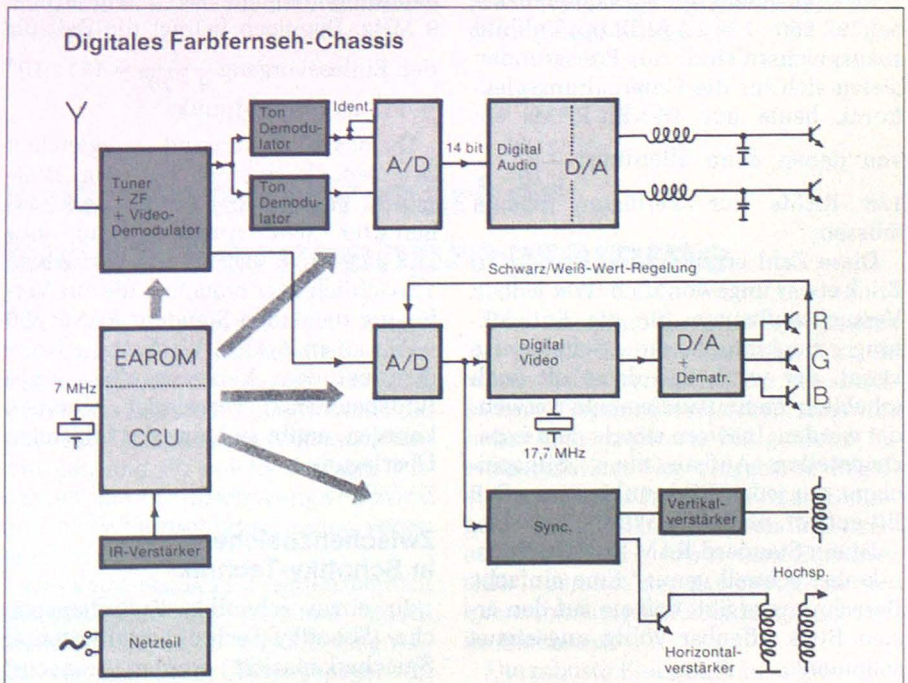


Bild 1. Nur noch bis zur Zf bzw. zum Video-Demodulator werden spätere Farbfernsehchassis analog aufgebaut – alles übrige ist digitalisierbar

schreiben, während der Sender in der gleichen Zeit nur ein Vollbild (in Form von zwei Halbbildern) ausstrahlt, läßt sich selbstverständlich nur dann realisieren, wenn das Fernsehbild gespeichert und dann mit dreifacher Geschwindigkeit aus dem Speicher ausgelesen werden kann.

Wie man den Bildspeicher organisieren müßte

Die folgenden Überlegungen beziehen sich auf die Bildinformation im Luminanzkanal. Die effektive Zahl der auf dem Bildschirm sichtbaren Zeilen beträgt 585. Berücksichtigt man das bei Fernsehgeräten übliche Seitenverhältnis des Bildschirms (4 : 3), dann ergeben sich insgesamt

$$585 \cdot \frac{4 \cdot 586}{3} = 456\,300$$

Bildpunkte. Dabei ist allerdings folgendes zu bedenken:

Bei der Farbwiedergabe würde durch die zusätzliche Ausstrahlung des Farbhilfsträgers ein gewisser Anteil der Bandbreite beansprucht. Außerdem enthält die horizontale Austastlücke keine für den Bildspeicher relevanten Informationen. Daher werden tatsächlich nur knapp 65% der 456 300 Bildpunkte benötigt, was ergibt $0{,}65 \cdot 456\,300 = 292\,950$ effektive Bildpunkte.

Um die Qualität des vom Sender ausgestrahlten Originalbildes beizubehalten, muß jeder Bildpunkt mit 7 Bit aufgelöst werden. Das wiederum bedeutet, daß allein für den Luminanzkanal $292\,950 \cdot 7 = 2{,}1$ MBit pro Vollbild abzuspeichern sind. Aus Preisgründen bieten sich für die Unterhaltungselektronik heute nur 16-KBit-RAMs an, von denen dann allerdings $\frac{2100}{16} =$ 128 RAMs zur Verfügung stehen müssen.

Diese Zahl erscheint auf den ersten Blick etwas ungewöhnlich. Wer jedoch Versuchsaufbauten für die Entwicklung hochintegrierter Schaltkreise kennt, der weiß, daß dabei oft noch erheblich mehr Bauelemente verwendet werden. Insofern stände dem experimentellen Aufbau eines Bildspeichers, der jeden Bildpunkt sogar mit 8 Bit auflöst, nichts im Wege.

Ist ein Standard-RAM in MOS-Technik aber schnell genug? Eine einfache Berechnung ergibt, daß sie auf den ersten Blick offenbar völlig ungeeignet scheinen:

Bekanntlich muß die Sampling-Frequenz mindestens zweimal so groß sein wie die höchste zu übertragende Frequenz. Diese beträgt 4,5 MHz, die Sampling-Frequenz also $2 \cdot 4{,}5$ MHz = 9 MHz. Demnach beträgt die Zeit für den Einlesevorgang $\frac{1}{9 \cdot 10^6} = 111 \cdot 10^{-9}$ = 111 ns pro Bildpunkt.

Da das Bild während der gleichen Zeit jedoch dreimal auf den Bildschirm geschrieben werden soll, stehen für den Auslesevorgang nur $\frac{1}{3} \cdot 111$ ns = 37 ns zur Verfügung. Tatsächlich aber brauchen die zur Verfügung stehenden Standard-RAMs 350 ns für einen Zyklus. Weshalb sie trotzdem bei dem Versuchsaufbau eines Bildspeichers verwendet werden konnten, ergibt sich aus der folgenden Überlegung.

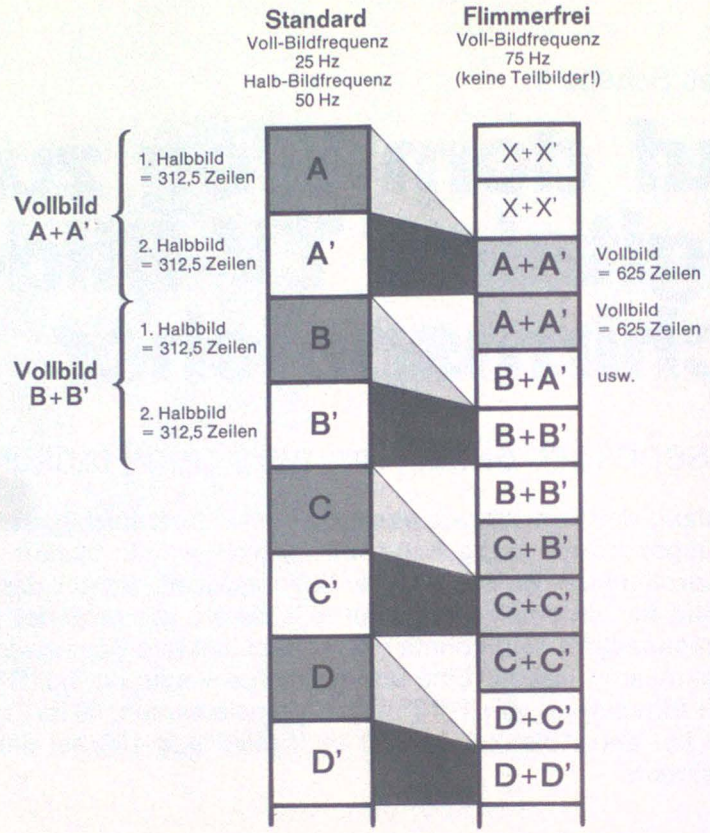


Bild 2. Um drei Vollbilder in einer 25stel Sekunde schreiben zu können, muß zunächst ein Vollbild im Speicher abgelegt werden. Das bedeutet, daß das erste Bild erst am Ende der 2. Halbbildperiode zur Verfügung steht (Signal A + A'). Daraus resultiert eine zusätzliche Verzögerungszeit von 29 ms, die sich zu den ca. 3 s Aufheizzeit für die Bildröhren addieren – 1 % mehr (Alle Bilder: ITT)

Zwischenspeicher in Schottky-Technik

In einen schnellen Zwischenspeicher (Schottky-Technik) mit limitierter Speicherkapazität werden zunächst 128 Bit eingelesen: 1 Bit in jedes der 128 RAMs. Da mit einer Auflösung von 8 Bit pro Bildpunkt gearbeitet wird, entsprechen diese 128 Bit einer Information $\frac{128}{8} = 16$ Bildpunkte. Die in diesen 16 Bildpunkten enthaltene Information wird also nach jeweils $16 \cdot 111$ ns = 1776 ns gleichzeitig in die 128 RAMs eingelesen. 1776 ns beträgt damit auch die Zeit für einen Zyklus, in dem insgesamt vier Vorgänge ablaufen, nämlich ein Einlesevorgang und drei Auslesevorgänge.

Innerhalb der Zykluszeit von 1776 ns stehen für jeden Einzelvorgang demnach $\frac{1176}{4} = 444$ ns zur Verfügung. Das wiederum ist eine Zeit, die einem Standard-RAM keine Probleme bereitet.

Beim Auslesevorgang werden die 16 Bildpunkte wieder in einen Zwischenspeicher gegeben, der aus acht Blöcken zu je 16 Bit besteht. Die effektive Auslesefrequenz beträgt dabei 3 · 9 MHz (Sampling-Frequenz) = 27 MHz. Da die Sampling-Frequenz um den Faktor 2 größer ist als die höchste zu übertragende Frequenz, ist die tatsächliche

Bandbreite nur halb so groß, nämlich 13,5 MHz. Damit ist zugleich die Bandbreite gekennzeichnet, auf die (nach der D/A-Wandlung) die Video-Endstufen ausgelegt sein müssen.

Schlußbemerkung

Bei ITT Schaub-Lorenz entstand ein Versuchsaufbau nach diesen Überlegungen, bei dem es sich im augenblicklichen Stadium natürlich nur um ein Studienobjekt handelt. Mit seiner Hilfe sollte analysiert werden, wie ein solcher Bildspeicher organisiert und strukturiert sein muß. Die Zielsetzung kann am Ende nur darin bestehen, einen schnellen Speicher mit der entsprechenden Kapazität zu einem Preis herzustellen, der den Einsatz in Geräten der Unterhaltungselektronik rechtfertigt.

Stichworte zum Inhalt
Flimmerfreie Fernsehbilder, Bildspeicher, digitales Farbfernsehchassis, 16-KBit-RAM

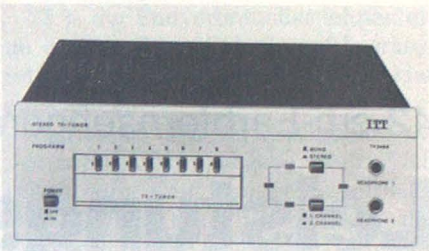


Bild 2. Durch die Ausrüstung mit einem TV-Anschluß eignet sich der Baustein auch als Tuner für Video-Recorder ohne Empfangsteil (Alle Photos: ITT)

Stereoton-TV mit Monogerät

Speziell für Fernsehgerätebesitzer, die das vorhandene Gerät weiter verwenden wollen, hat ITT Pforzheim den Zusatzbaustein TV 2466 zum Empfang von Sendungen nach dem Mehrkanalton-Verfahren entwickelt. Er ist mit acht Programmwahl-Tasten ausgestattet und basiert auf dem Hf-/Zf-Baustein mit dem kabelempfangstüchtigen Oscar-(Omny System Cable and Antenna Receiver-)Tuner, den ITT in seiner neuen Chassis-Generation einsetzt, sowie einem nachfolgenden Mehrkanalton-Decoder.

Der Hf-/Zf-Baustein arbeitet nach dem Quasi-Parallelton-Verfahren, um im Hinblick auf anspruchsvolle Musikübertragung den Störabstand zu verbessern. Die Abstimmung der Programmplätze erfolgt durch acht Spindelpotentiometer. Die exakte Scharfabstimmung übernimmt eine (abschaltbare) Automatik.

Das Gerät wird einfach über den 75-Ohm-Eingang für das Antennensignal angeschlossen. Über einen integrierten Antennenverstärker mit 6 dB Verstärkung wird das Signal zum Fernsehgerät durchgeschleift. Das Ton-Signal wird von einem TA-Normausgang auf den Auxiliary-Eingang der Stereo-Anlage geführt. Außer einer Netzverbindung sind damit schon alle Anschlüsse hergestellt.

Sofern man den TV 2466 zusammen mit einem Fernsehgerät betreibt, das über eine AV-Buchse nach DIN 45 322 verfügt, kann auch über diese Buchse die Verbindung zu dem entsprechenden AV-Anschluß der Zusatz-Komponente hergestellt werden. Wird dieser Anschluß gewählt, ist das Fernsehgerät auf den AV-Programmplatz zu schalten. Die Programmwahl erfolgt dann ausschießlich über die Tastatur des Zusatzbausteines.

Durch eine spezielle Logik-Schaltung ist der TV 2466 außerdem in der Lage, Mehrkanalton-Übertragungen von reinen Stereoübertragungen zu unterscheiden. Beide Empfangszustände werden durch separate Leuchtdioden angezeigt. Außerdem können bei Mehrkanal-Tonübertragungen die beiden Informationen zwischen den beiden Kopfhörerausgängen gewechselt sowie wahlweise auf die TA-/AV-Ausgänge gelegt werden. Kp.

Bild 1. Mit seiner Breite von 24 cm gehört der Stereo-Zusatzbaustein TV 2466 zu den „Minikomponenten". Er kann auf Grund des gleichen Designs auch gemeinsam mit Bausteinen aus dem HiFi-System 2400 von ITT aufgestellt werden

Antennenverstärker für 12 Fernsehprogramme

Mit dem Hausverstärker Cati 26 von Bosch ist der Anschluß an die Fernsehzukunft gesichert. Dieser Verstärker wurde speziell für Kabelfernsehanlagen, für Großgemeinschaftsantennen-Anlagen und für solche Anlagen entwickelt, die zur Übertragung von zwölf und mehr Fernsehprogrammen vorgesehen sind.

Die Verstärkung im Frequenzbereich 40...300 MHz mit maximal 26 dB reicht für bis zu 28 verschiedene Anschlüsse bei einem Übergabepegel von 66 dBµV aus. Mit einem Übergabepegel von ≧ 70 dBµV können bis zu 45 Anschlüsse versorgt werden.

Der Anschluß an BK-Verteilernetze der Bundespost wird mit dem Cati 26 wesentlich vereinfacht. Der störstrahlsichere Gegentaktverstärker sorgt für hohe Aussteuerwerte bei geringer Intermodulation. Der eingebaute Pegelsteller ermöglicht ein leichtes Einpegeln, und mit der steckbaren Entzerreraufnahme EAI 1 sowie dem Entzerrer GDL... bereitet der Ausgleich der frequenzabhängigen Kabeldämpfung keine Probleme.

Die robuste Elektronik in einem Aluminium-Druckgußgehäuse mit integriertem Netzteil gewährleistet hohe Betriebssicherheit. Kn.

42-cm-Farbfernsehgerät:

Leistungsaufnahme nur noch 35 bis 45 W

Ab September 1981 wird Blaupunkt eine neue Geräteserie auf den Markt bringen, deren Stromverbrauch eine weitere drastische Senkung unter die bisher schon sehr niedrigen Verbrauchsdaten zeigt: Statt bisher 65 W nehmen die Geräte nur noch 35...45 W je nach Bildhelligkeit auf. Dies sind Werte, die weit unter denen vieler Schwarzweiß-Fernsehempfänger liegen.

Die Verringerung der Leistungsaufnahme wurde erreicht durch die Anpassung der FM-120-Chassistechnik an kleinere Bildschirme und durch Verwendung einer Bildröhre, der sogenannten Mini-Neck-Röhre, die besonders wenig Ablenkstrom braucht. Wegen der geringeren Erwärmung wird auch die Zuverlässigkeit des Fernsehgerätes weiter verbessert.

Abgewandeltes FM-120-Chassis

Das Chassis ist eine Abwandlung des von Blaupunkt bereits 1980 eingeführten FM-120-Chassis. Bei anderer Anordnung enthält es die gleichen, die Bildqualität bestimmenden Schaltungsfunktionen und Techniken. Dazu gehören:

- Schaltnetzteil mit Netztrennung (wichtig für Sicherheit und Nachrüstbarkeit für Zusatzfunktionen);
- Chromaprozessor mit Farbhintergrundstabilisierung, der bewirkt, daß keine Verschlechterung der Bildqualität während der ganzen Lebensdauer der Bildröhre auftritt;
- Diodensplit-Transformator mit besonders niedrigem Innenwiderstand für optimale Bildqualität;
- Allbandtuner – voll tauglich für die Kabelfernsehkanäle – kombiniert mit dem Zwischenfrequenzverstärker, um unerwünschte Störungen durch Fremdfelder (z. B. in der Nähe von Sendemasten) zu vermeiden.

Der Unterschied gegenüber den Fernsehgeräten mit 56- und 67-cm-Bildröhre besteht darin, daß zur Ausstattung kleinerer Geräte das Chassis gedrängter aufgebaut und horizontal statt vertikal angeordnet wurde. Weil dieses Chassis auch in Computerdisplays und -terminals sehr kleiner Abmessungen eingesetzt werden soll, wurden alle für diesen Zweck nicht benötigten Hochfrequenz- und Tonverarbeitungsschaltungsteile auf einer kleinen Seitenplatte untergebracht.

Mini-Neck-Bildröhre

Die für die Bildröhre benötigte Leistung läßt sich unter Beibehaltung der auch bei Spitzengeräten üblichen Hochspannung von 24 kV durch folgende Maßnahmen reduzieren:

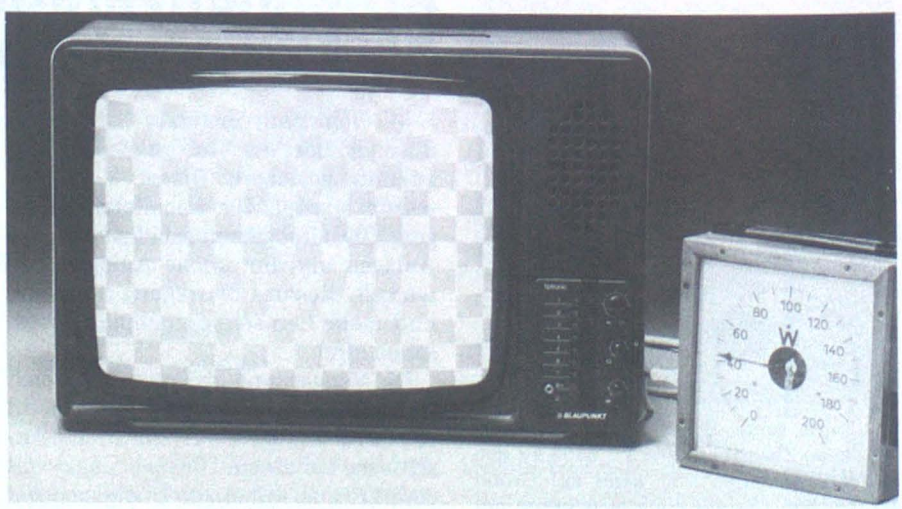
- Die Erhöhung der Windungszahl der Ablenkspule (Impedanzerhöhung) ist ohne Qualitätsverlust bis zu einer durch die Spannungsfestigkeit der eingesetzten Halbleiter gegebenen Grenze möglich, was bei den neuen Geräten ausgenutzt wurde.
- Durch Verringerung des Bildröhren-Halsdurchmessers bringt man die Ablenkspule dichter an den Elektronenstrahl der Bildröhre. Damit verstärkt sich das Ablenkfeld bei gleichem Strom bzw. für das benötigte gleiche Ablenk-Magnetfeld kann man den Strom verringern.

Der Hals der neuen Bildröhre hat statt des bisher üblichen Durchmessers von 29,1 mm nur noch einen solchen von 22,1 mm; auf diese Weise ließ sich die Stromaufnahme um 25 % herabsetzen. Helligkeit, Schärfe und damit die Bildqualität entsprechen denen von Röhren mit größerem Halsdurchmesser.

42-cm-Farbportable Rodeo T8 Color

Das erste Gerät der neuen Serie ist das 42-cm-Portable Rodeo T8 Color *(Bild)*. Es hat ein asymmetrisches Kunststoffgehäuse mit den Abmessungen 488 mm x 331 mm x 406 mm und wiegt 14 kg. Zur Senderwahl (mit Potentiometer-Abstimmung) stehen acht mechanische Tipp-Tasten zur Verfügung. Der Nf-Teil liefert 1 W an den nach vorn strahlenden Lautsprecher. Die Kopfhörer-Anschlußbuchse ist an der Frontseite angeordnet. Ra.

Stichworte zum Inhalt
Verringerte Leistungsaufnahme, abgewandeltes FM-120-Chassis, Mini-Neck-Bildröhre.



Die 42-cm-Farbfernsehgeräte der neuen Blaupunkt-Serie haben je nach mittlerer Bildhelligkeit eine Leistungsaufnahme von 35...45 W (Werkfoto)

Zweimal bezahlen?

Das Thema „Abgabe auf Leerkassetten" erregt wieder einmal die Gemüter. In Österreich wird bekanntlich eine Abgabe von etwa 14 Pfennigen pro Leerkassette erhoben, wobei berücksichtigt werden muß, daß es dort keine Geräteabgabe wie in der Bundesrepublik gibt: Rechnet man die in Deutschland erhobene Geräteabgabe auf eine Leerkassette an Hand der Verkaufszahlen um, dann erhalten die Urheber hier bereits rund 24 Pfennig pro Kassette. So ist nicht ganz einzusehen, warum für die Einzelkassette ein zweites Mal eine Urheberabgabe erhoben werden soll. In Großbritannien hat die Regierung kürzlich die Forderung nach einer Leerkassettenabgabe zurückgewiesen.

1965 hat es der Gesetzgeber den Urhebern ermöglicht, für durch Tonband-Amateure in Anspruch genommene Urheberleistungen – z. B. beim Mitschneiden oder Überspielen – einen Ausgleich über die sogenannte Geräte-Abgabe zu verlangen. Das geschieht seitdem bei jedem Gerätekauf durch eine im Preis enthaltene, aber nicht besonders ausgewiesene Urheberrechtsgebühr. Diese ist im Audio-Bereich von 4 Mio. DM im Jahr 1966 auf rund 20 Mio. DM im Jahr 1980 angewachsen.

1980 wurden zum Beispiel 44,4 Millionen Musik-Kassetten in der Bundesrepublik Deutschland verkauft. Dagegen stehen ca. 85 Millionen Leerkassetten. Nach wie vor steigen die Umsätze in der Musik-Branche (+3,2 % im Jahr 1980). Die Musik-Kassette hatte im letzten Jahr mit +18,7 % wieder eine überdurchschnittliche Steigerung zu verzeichnen. Dies zeigt deutlich, das eine Wechselwirkung zwischen Leerkassette und bespielten Tonträgern nicht besteht.

Wenn seitens der Urheber argumentiert wird, die durchschnittliche Abgabe pro Audio-Gerät (1965: 15 DM) sei heute auf 4,50 DM gefallen, so ist dem nicht nur die Steigerung des Gesamtvolumens entgegenzuhalten. Im zukunftsträchtigen Videomarkt wird nämlich bereits heute eine durchschnittliche Geräte-Abgabe von 50 DM gezahlt. Diese soll nach den Vorstellungen der Urheber sogar auf 92 DM anwachsen; eine Aufgabe auf unbespielte Videokassetten wird zusätzlich gefordert.

Bei der BASF, einem der führenden Kassetten-Hersteller, hat man folgende Rechnung aufgemacht:

Multipliziert man die 44,4 Millionen Musik-Kassetten aus dem Jahr 1980 mit den durchschnittlichen Lizenzen – nach Angaben von Repräsentanten der Phono-Industrie – von ca. 2,40 DM pro Kassette, so errechnen sich für die Urheber im Jahr 1980 durch die Einführung der Audio- und Video-Kassetten-Systeme insgesamt folgende zusätzliche Einnahmen, die 1965 niemand voraussehen konnte: aus dem Verkauf von Musik-Kassetten ca. 106 Mio. DM, aus dem Verkauf von Kassettenrecordern bei korrektem Einzug ca. 35 Mio. DM und aus dem Verkauf von Videorecordern ca. 30 Mio. DM.

Die zusätzlichen Einnahmen der Urheber durch die Einführung der Kassetten-Systeme hätten also 1980 bei voller Ausschöpfung der Möglichkeiten ca. 171 Mio. DM betragen. Die Gesamteinnahme der Gema belief sich übrigens in Jahr 1980 auf 464 Mio. DM (+ 7,06 % gegenüber 1979).

Handel und Verbraucher sind dagegen

In den letzten Monaten meldeten sich auch die Endverbraucher und der Handel verstärkt zu Wort. Gegenüber einem Marktforschungsinstitut äußerten sich 1000 befragte Endverbraucher und 500 Vertreter des Handels dazu wie folgt:

73 % der Endverbraucher lehnen eine weitere Gema-Gebühr auf Leerkassetten ab. 22 % konnten sich nicht klar entscheiden.

Warum, so fragt der Verbraucher, eine Leerkassetten-Abgabe wenn ich schon beim Kauf meiner Schallplatte Gema-Gebühr bezahlt habe? 87 % der Endverbraucher überspielen nämlich vom gekauften Tonträger für die Eigenverwendung. Als Gründe geben sie an: Kann mein eigenes Musikprogramm zusammenstellen; kann die Kassette überall mit hinnehmen; zum Abspielen im Auto; die Platten werden leichter beschädigt; ich möchte mich absichern, da die Platten z. T. nicht mehr im Handel sind.

Beim Handel ist der Widerstand fast einhellig. 82 % der Befragten lehnen eine Gema-Gebühr ab. Sie sehen klar, daß bei Einführung einer Gema-Abgabe ihr Geschäft betroffen sein wird. Setzt man den Umsatz mit Platten, Musik-Kassetten und Leerkassetten mit 100 % an, so ist der Leerkassettenumsatz-Beitrag immerhin 55 % und der Ergebnisbeitrag 58 %.

Nach wie vor haben alle Argumente für die Beibehaltung des geltenden Urheberrechts Gewicht. 25 % der Leerkassetten werden urheberrechtsfrei eingesetzt für Filmvertonung, Sprachübungen, Compact-Cassetten-Briefe, Diktiergeräte usw. Ein Großteil der aufgezeichneten Musik ist zudem Gemafrei. Jede Leerkassette kann außerdem unter minimalem Kostenaufwand auch mit abgabefreier Musik bespielt werden: Es bestehen keine technischen Möglichkeiten, ein Löschen dieser Compact-Cassetten und ihre Wiederverwendung zur Neubespielung zu verhindern. 1965 gab es neben den Tonbändern noch kaum Kassetten, aber sinngemäß gilt für Bänder das gleiche. Es hatte also schon damals seine Gründe, warum sich der Gesetzgeber für eine Geräte-Abgabe, nicht jedoch für eine Abgabe auf die Bänder entschied.

Die Proteste gegen die Einführung einer Leerkassetten-Abgabe bzw. gegen eine Erhöhung der Geräte-Abgabe haben zu ersten Erfolgen geführt: Der Gema-Vorstand scheint zu befürchten, daß die negativen Äußerungen des Handels und der Endverbraucher seinen Interessen schaden könnten. Neuerdings fordert er die Erhöhung der Gema-Abgabe zu Lasten der ohnehin schmalen Gewinne der Magnetband-Hersteller, die nur einen Bruchteil der Gema-Gebühr verdienen...

Hans-Joachim Cabus

Ulrich Müter

Bildröhren-Regenerierung

Vor dem Hintergrund der Materialverknappung und der Lebensdauer-Verlängerung der anderen Teile eines Fernsehgerätes kann auf das Bildröhren-Regenerieren nicht mehr verzichtet werden. Die Anschaffung eines Regeneriergerätes lohnt sich heute besonders, weil Hochvacuum-Bildröhren mit Erdalkali-Oxid-Katoden als Displays für die Darstellung schneller Vorgänge in den nächsten 10 bis 15 Jahren nicht durch andere Techniken ersetzt werden können.

Verschiedene Typen von Bildröhren-Regeneriergeräten sind bekannt. Einfache Geräte konnten noch bis Mitte der siebziger Jahre gebraucht werden. Bis damals wurden in den Röhren Katoden mit größerer Masse verwendet. Diese wurden beim Regenerieren durch einen kurzen, aber hohen Stromstoß zerrissen. Unter heftigem Knistern und Blitzen flog ein Teil der Katode in den Röhren-Innenraum. Der bleibende Rest emittierte dann meistens wieder für einige Zeit.

Bildröhrentechnik wandelte sich

Verschiedene Forderungen führten zu kleineren Katodenmassen. Das war so etwa gegen 1975. In-Line-Bildröhren in 29-mm-Hälsen benötigten Systeme kleineren Querschnitts und damit auch Katoden geringerer Masse. Der Heizleistung der Katode wurde größere Aufmerksamkeit zuteil. Auch das war ein Grund für die Massenreduzierung. Mit den alten Regeneriergeräten konnte man diese neuen Röhren nicht mehr gefahrlos regenerieren.

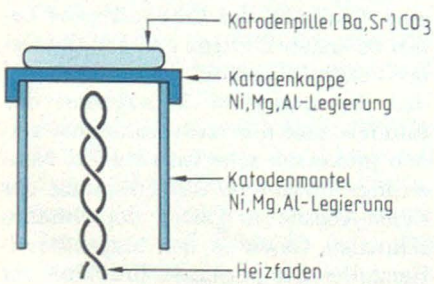


Bild 1. Zustand der Katode vor dem Pumpen und Formieren

Mitte der 70er Jahre kamen neue Regeneriergeräte auf den Markt. Die damals neu entwickelten Regeneriergeräte sind bereits verhältnismäßig zuverlässig. Die fortschrittlichsten arbeiten mit Ballastlampen. Allerdings verliert ein großer Teil der mit ihnen regenerierten Bildröhren nach einiger Betriebszeit die Emissionsfähigkeit wieder. Bei schlecht regenerierbaren Röhren muß nach eigenem Ermessen während des Regenerierens die Heizspannung erhöht werden. Das führt zu unkontrollierbaren Ereignissen in der Bildröhre. Außerdem können mit diesen Geräten nur Schlüsse zwischen Wehneltzylinder und Katode beseitigt werden; Schlüsse zwischen Katode und Heizfaden dagegen nicht.

Hohe Ziele

Bei der Entwicklung der neuen Generation von Bildröhrenmeß- und -Regeneriergeräten wurden die Ziele hoch gesteckt: Die Erfolgsquote sollte erhöht werden, eine Lebensdauer von mehr als einem Jahr für 80 % der regenerierten Bildröhren war zu verwirklichen. Besonders sollten auch Bildröhren-Katoden, die ihre Emissionsfähigkeit gänzlich verloren hatten und bisher als unregenerierbar galten, regeneriert werden können. Die Bedienung sollte einfach sein, unkontrollierte Manipulationen der Heizspannungshöhe unmöglich und unnötig werden, Faden-Katoden-Schlüsse sollten repariert werden können.

Um die wesentlichen Gedanken des Entwicklungskonzeptes darzustellen, scheint es unerläßlich, den Bildröhren-Herstellungsprozeß, soweit er den Werdegang der Erdalkali-Katode betrifft, darzustellen.

Die Erdalkali-Katode

Barium-Strontium-Mischkristalle sind an der Luft nicht aufbewahrbar. Als Carbonat ([Ba, Sr] CO_3) lassen sie sich dagegen in unserer Sauerstoff-Stickstoff-Atmosphäre gut verarbeiten. Sie werden als Mischung mit einem Binder in Form von Pasten auf die Katodenträger aufgebracht. Typische Mischungsverhältnisse sind: (immer ca.) 5 % $CaCO_3$, 50 % $BaCO_3$, 44 % $SrCO_3$ + 1 % Binder oder 15 % $CaCO_3$, 50 $BaCO_3$, 34 % $SrCO_3$ + 1 % Binder. Verunreinigungen und Bestandteile des Binders sind CO, Mg, Cu, Fe, Mn, Ni, und Si. Die Katodenkappe und der Katodenmantel bestehen aus einer Nikkel-Magnesium-Aluminium-Legierung (*Bild 1*).

Nachdem die Katode mit dem System in den Bildröhrenhals montiert ist, wird die Bildröhre auf den Pumpenstand gebracht. Zwischen den Kontakten des Glassockels ragt der noch offene Pumpstutzen hervor. Er wird mit der Pumpe verbunden.

Während des Evakuierens der Bildröhre auf dem Hochvacuum-Pumpenstand laufen verschiedene Vorgänge ab. Sie sind für die spätere einwandfreie und langlebige Emissionsarbeit der Bildröhrenkatode verantwortlich. Es sind das Aufdampfen des Getterspiegels auf die Bildröhren-Innenwand und das Formieren der Katode.

Der Getterspiegel

Das Auftragen des Getterspiegels erfolgt durch Verdampfen des Bariums aus der Barium-Aluminium-Legierung [Ba, Al_4], die im sogenannten Getter-Ring vorhanden ist. Die Erhitzung des Getterringes geschieht mittels eines hochfrequenten Induktionsstromes. Dieser wird knapp eine Minute lang von einer außen an den Bildröhrenkolben gelegten Spule in den Getterring induziert. Es werden Temperaturen von 1300 °C erreicht. Die Bildröhre ist während dieser Zeit bereits auf ca. 10^{-4} Torr evakuiert. Das Barium legt

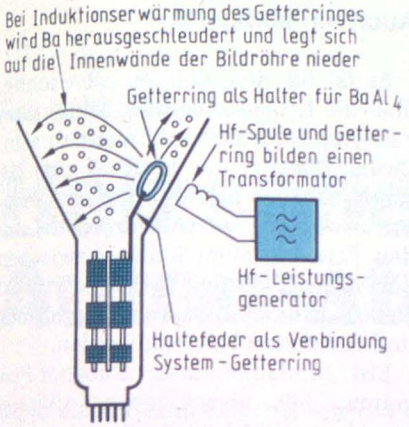


Bild 2. Der Getterspiegel wird aufgedampft

sich auf den Innenwänden der Bildröhre nieder (*Bild 2*).

Während des Pumpens wird formiert

Der Formierprozeß wandelt das Barium-Strontium-Carbonat [Ba, Sr] CO_3 in Barium-Strontium-Oxid [Ba, Sr] O um. Dabei wird die Katode verschiedentlich überheizt. Der Prozeßverlauf wird in *Tabelle 1* dargestellt.

Die Bildröhre befindet sich drei bis vier Stunden auf dem Hochvacuum-Pumpenstand. Während dieser Zeit wird die Kolbentemperatur der Röhre ständig mittels äußerer Gasflammenheizung auf 250...350 °C gehalten. Mit dem Verschließen der Bildröhre durch Abschweißen des Pumpstutzen endet das Evakuieren. Die Röhre ist bis auf 10^{-5} Torr evakuiert. Eine Restatmosphäre aus Methan (CH_4) und Wasserstoff (H_2) ist vorhanden. Der Getterbelag im Bildröhren-Konus und Hals besteht noch zum größten Teil aus reinem Barium. Nur ein kleiner Teil ist übergegangen in Bariumcarbonat ($BaCO_3$) und Bariumoxid (BaO). Die Katodenpille besteht im wesentlichen aus Barium-Strontium-Oxid [Ba, Sr] O.

Das nun folgende Aktivieren soll die Katode dauerhaft emissionsfähig machen. Der Ablauf des Aktivierens ist in *Tabelle 2* dargestellt.

Die Schicht K-V der Katodenoberfläche besteht nach dem Aktivieren aus ca. 1 µm großen Barium-Strontium-Kristallen, die nur an wenigen Stellen miteinander verbunden sind. Zwischen ihnen sind ca. 4 µm große Poren. Dadurch ist die wirksame Oberfläche um etwa den Faktor 100 größer als die geometrische Katodenfläche. Die Bildröhrenkatode ist nun emissionsfähig (*Bild 3*).

Gebrauch und Verbrauch der Bildröhren-Katode

Beim normalen Gebrauch der Bildröhre hat die Katode eine Temperatur um 700 °C. Dabei verdampft ständig Barium von der Katodenoberfläche. *Tabelle 3* zeigt, wie es teilweise während des Betriebes ersetzt wird.

Wenn Katoden nicht mehr emittieren, können sie folgende durch den langen Gebrauch entstandene Veränderungen aufweisen:

1. Die Barium-Strontium-Kristalle der Schicht K-V sind zu einer verglasten Fläche zusammengewachsen.
2. Die Katodenoberfläche K-V besteht aus Barium-Strontium-Oxid. Das Barium ist restlos verdampft.
3. Der Übergang der Katodenpille zur Katodenkappe K-K besteht aus einer Isolierschicht, deren wesentliche Bestandteile Magnesiumoxid (MgO) und Aluminiumoxid (Al_2O_3) sind.

Nachfolgend soll anhand des Meß- und Regeneriergeräts BMR 80 (*Bild 4*) der Vorgang des Regenerierens beschrieben werden.

Bildröhren-Regenerieren

Die Katodenpille wird auf ca. 900 °C erhitzt. Dadurch schmelzen die Katodenbestandteile Al, Sr, Ba, Mg, Ca. Der Siedepunkt des Magnesiums wird auf jeden Fall nicht erreicht (*Tabelle 4*).

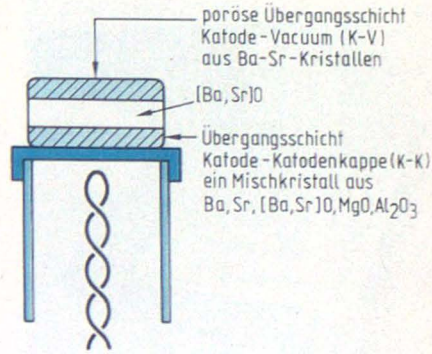


Bild 3. Die Katode nach dem Aktivieren

Die Verbindungen der genannten Stoffe mit Sauerstoff und Kohlenstoff (O, C) brechen auf.

Durch Anlegen einer geeigneten Impulsspannung zwischen der Katode auf der Minusseite und Wehnelt sowie Gitter 2 auf der Plusseite wird in der Katode ein galvanischer Vorgang eingeleitet. Die Kohlenstoff- und Sauerstoffionen wandern durch die Schmelze und hinterlassen Fehlstellen. An der Oberfläche der Katode treten die Ionen aus, gelangen ins Vacuum und werden an der Bildröhreninnenwand vom Getter gebunden. Die emissionsverhindernden Verbindungen MgO und Al_2O_3 (Teile der Schicht K-K) sind damit beseitigt. Gleichzeitig entsteht an der Katodenoberfläche K-V reines Barium.

Nun erkaltet die Katode, weil die Heizspannung abgeschaltet wird. Der

Tabelle 1: Formieren der Katode

Schritt	Atmosphärendruck	Katodentemperatur	Dauer	Reaktion	Erklärung
1	$10^{-3}...10^{-1}$ Torr	ca. 800 °C	ca. 3 Min.	[Ba, Sr] CO_3 $BaCO_3 + SrO + CO_2$	CO_2 (Kohlendioxid) wird abgepumpt, ein kleiner Teil reagiert mit dem Barium des Getters
2	pumpen	aufheizen			
3	$10^{-6}...10^{-1}$ Torr	ca. 850 °C	ca. 5 Min.	$BaCO_3 + SrO$ $BaO + SrO + CO_2$	siehe oben
4	pumpen	aufheizen			
5	$10^{-3}...10^{-1}$ Torr	ca. 1100 °C	ca. 10 Min.	$BaO + SrO + CO_2$ $BaO + SrO$	siehe oben
	pumpen				Der Druckanstieg bei den Schritten 1, 3, 5 ist mit der Entwicklung des Kohlendioxides CO_2 zu erklären

Die Reaktion $CaCO_3 \rightleftharpoons CaO$ läuft gleichzeitig ab.

Bild 4. Das Bildröhren-Meß- und -Regeneriergerät BMR 80

galvanische Prozeß wird jedoch aufrechterhalten. Das geschieht durch langsames Anheben der Impulsspannung. Die Fehlstellenbildung als Folge des Ionenstromes im Mischkristall führt zu neuer Porenbildung an der Katodenoberfläche. Unterstützt wird die Porenbildung noch dadurch, daß die verschiedenen Bestandteile der Schmelze nacheinander erstarren.

Je nachdem wie verbraucht die zu regenerierende Katode ist, dauert der Vorgang vom Beginn des Aufheizens bis zum Ende zwischen 30 Sekunden und drei Minuten. Während dieser Zeit sorgt die Steuerung durch den BMR 80 für effektive Regenerierung. Außerdem kann der Bedienende durch Meßinstrumentenbeobachtung den galvanischen Vorgang kontrollieren. Auch wird ihm mittels Kontrollampe angezeigt, ob die Gefahr der Katodenverformung, die einen Schluß Katode-Wehnelt erzeugen könnte, besteht.

Auch ein Meßgerät

Es ist für den Kunden oft wichtig, über die Lebenserwartung seiner regenerierten Bildröhre informiert zu sein. Deshalb besitzt der BMR 80 eine besondere Meßeinrichtung für die Lebenserwartung von Bildröhren-Katoden. Ferner können Schlüsse zwischen der Katode und Wehnelt-Zylinder ebenso wie Schlüsse zwischen Katode und Heizfaden behoben werden.

Ein umfangreiches Zubehör-Programm (40 verschiedene Adapter) macht den BMR 80 zu einem universellen Gerät, welches auch Oszillografen-, Kamera-, Bildpunktabtast- und Radar-Bildröhren regenerieren kann. Mit der Grundausstattung können ca. 600 verschiedene Bildröhrentypen angeschlossen werden. Auch Stahlstrom, Fokusstrom, Kennlinien und alle Schlüsse sind mit diesem Gerät meßbar.

Tabelle 2: Aktivierung der Katode nach dem Zuschweißen des Röhrenkolbens

Folgende Reaktionen und Prozesse laufen ab. Eine poröse, 50 µm bis 100 µm dicke Bariumschicht (K-V) entsteht an der Katodenoberfläche.

	Katodentemperatur	Aktivierungsart	Reaktionsort	Reaktion	Erklärung
1.	950 °C	Reduktion	Katode	$BaO+CO \rightleftharpoons Ba+CO_2$ CO_2 geht zum Getter, und wird dort mit Ba zu $BaCO_3$	CO (Kohlenoxid) stammt aus dem Binder
2.	950 °C	Reduktion	Schicht K-K	$BaO+Mg \rightleftharpoons Ba+MgO$ $BaO+Al \rightleftharpoons Ba+Al_2O_3$	Mg (Magnesium) und Al (Aluminium) sind im Katodenmantel und in der Katodenkappe als Aktivatoren vorhanden. Sie werden ausgeschmolzen.
3.	950 °C	Reduktion	Schicht K-V	$BaO+CH_4 \rightleftharpoons Ba+CO+2\,H_2$ bildet mit Ba des Getters $BaCO_3$	CH_4 (Methan) ist als Restatmosphäre vorhanden
4.	950 °C	Reduktion	Schicht K-V	$BaO+H_2 \rightleftharpoons Ba+H_2O$ reagiert mit Getter-Ba $Ba+H_2O \rightleftharpoons BaO+H_2\downarrow$ Restatmosphäre	H_2 (Wasserstoff) stammt aus Reaktion Nr. 3 und aus der Restatmosphäre
5.	fällt				Porosität entsteht durch Sintern.
6.	830 °C	Elektrolytisch	Katode	$Ba^{++}+O^{--}+2e \rightleftharpoons Ba+O^{--}$	Der Ionenstrom O^{--} wandert durch die Katode und hinterläßt Leerstellen. Die O^{--}-Ionen gehen im Vakuum zum Getter und werden da gebunden.

Reaktion 6. erfordert das Einschalten der Katoden-Wehnelt-Diode in einen Gleichstromkreis.

Die Reaktionen 1., 2., 3., 4. erfolgen gleichzeitig; Die Katodentemperatur wird ähnlich ab durch Überheizen erreicht.

Die Reaktionen mit Sr (Strontium) und Ca (Calzium) laufen

Tabelle 3: Aktivierung der Katode durch Reduktion während des Gebrauchs der Bildröhre

Ein Teil des ständig verdampfenden Bariums der Katodenoberfläche wird dabei aus dem Bariumoxid der Katode ersetzt.

$$BaO+H_2 \rightleftharpoons Ba+H_2O$$

Wird Teil der emittierenden Katodenoberfläche

Geht zum Getter und reagiert dort

$$H_2O+Ba \rightleftharpoons BaO+H_2$$

bleibt Teil des Getterspiegels — wird Teil der Restatmosphäre

Während dieses Vorgangs wachsen die Bariumkristalle und bilden mit der Zeit eine glasige Katodenoberfläche. Die Porosität geht verloren. Die Emissionsfähigkeit läßt nach.

Tabelle 4: Schmelz- und Siedepunkt Katodenelemente

Element	Schmelzpunkt	Siedepunkt	
Al	660 °C	2467 °C	Aluminium
Sr	769 °C	1384 °C	Strontium
Ba	725 °C	1646 °C	Barium
Mg	651 °C	1107 °C	Magnesium
Cu	1083 °C	2600 °C	Kupfer
Fe	1528 °C	2735 °C	Eisen
Mn	1244 °C	2097 °C	Mangan
Ni	1453 °C	2732 °C	Nickel
Si	1410 °C	2355 °C	Silizium
Ca	851 °C	1482 °C	Calcium

Reinhold Neitzel

Heizscheiben-Automatik

Mit dieser Bauanleitung stellen wir den dritten Preis in der zweiten Abteilung des FUNKSCHAU-Wettbewerbs 1981 vor. Die Idee ist zwar nicht ganz neu, jedoch ist die mechanische Anbringung des Infrarotsenders- und -empfängers auf der Heckscheibe ausführlich beschrieben, so daß uns die sichere Funktion gesichert scheint.

Die Mehrzahl der Kraftfahrzeuge ist heute mit einer heizbaren Heckscheibe ausgerüstet. Leider ist die Bedienung noch nicht optimal, da der Batterie häufig unnötig lange Strom entnommen wird, obwohl die Scheibe schon frei ist. Auf der anderen Seite wird durch eine zu spät eingeschaltete Heizung die Fahrsicherheit beeinträchtigt. Die hier beschriebene Automatik löst das Problem.

Arbeitsweise über Reflexion

Der Beschlag auf einer Scheibe besteht aus feinsten Tröpfchen. Diese sorgen dafür, daß das Licht nicht mehr geradlinig durch die Scheibe fällt, sondern in alle Richtungen gebrochen und reflektiert wird. Die vorliegende Schaltung nutzt den Effekt aus, daß bei großen Einfallswinkeln (*Bild 1*) Licht fast vollständig am optisch dichteren Medium, hier der Scheibe, reflektiert.

An der unbeschlagenen Innenseite der Heckscheibe wird flach einfallendes Infrarotlicht (*Bild 2a*) nach dem Reflexionsgesetz zu einer Fotodiode reflektiert. Der große Einfallswinkel sorgt dafür, daß die Scheibe fast wie ein Spiegel wirkt und Einflüsse auf der Außenseite der Scheibe, wie z. B. Regentropfen, Heckscheibenwischer usw. keine Auswirkungen haben.

Wenn die Scheibe beschlagen ist (Bild 2b), gelangt der größte Teil des einfallenden Lichtes nicht mehr zum Empfänger. Die Stärke des auf die Fotodiode einfallenden Lichtes ist das Kriterium zur Steuerung der Heckscheibe.

Getakteter Infrarotstrahler

Mit einem Gatter des Schmitt-Trigger-Bausteins SN 74132 sowie R13 und C5 wird eine Rechteckschwingung von 1500 Hz erzeugt, die verstärkt über T2 an den GaAs-Infrarotstrahler D2 gelangt (*Bild 3*). Durch die 1500-Hz-Schwingung wird die Schaltung unempfindlich gegen Einstrahlung von Fremdlicht. Außerdem wird hierdurch eine gegenüber Temperatureinflüssen anfälligere Gleichspannungsverstärkung vermieden.

Auf der Empfängerseite arbeitet die preiswerte Silizium-Fotodiode BPW34 (D1), die das empfangene Signal über C2 an den Operationsverstärker TAA861A weitergibt. Dessen Arbeitspunkt kann mit P1 eingestellt werden.

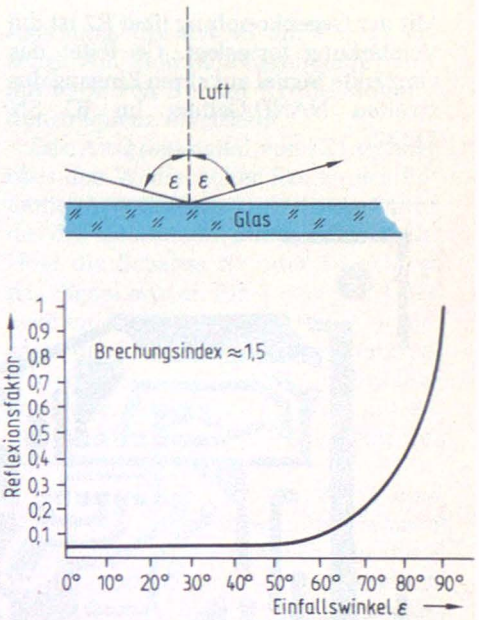
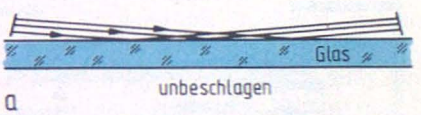
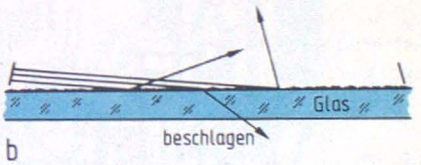


Bild 1. Auf dem Zusammenhang zwischen dem Brechungsindex und dem Ein- und Ausfallwinkel eines Lichtstrahls beruht die Wirkungsweise des Aufbaus



a

Bild 2. Verlauf der Infrarotstrahlung
a) bei unbeschlagener,



b

b) bei beschlagener Heckscheibe

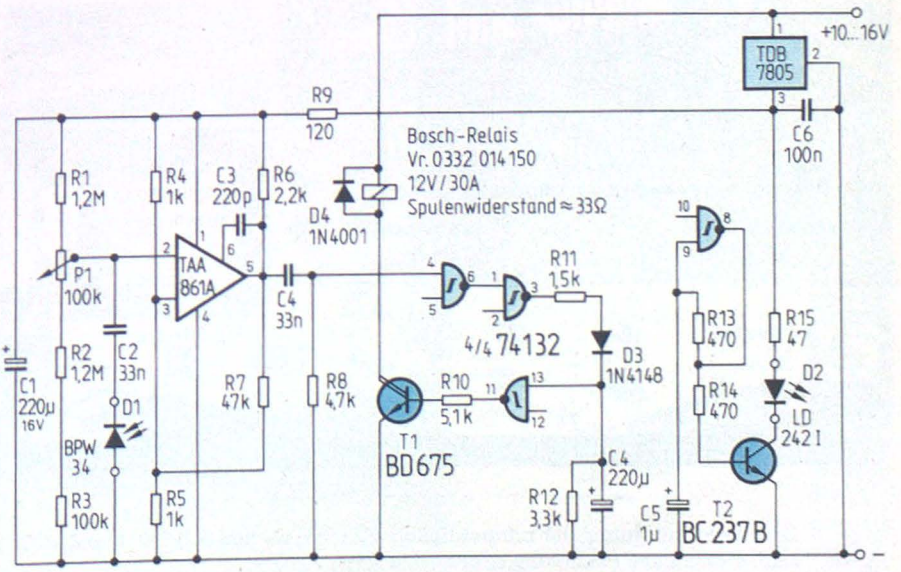


Bild 3. Schaltung für Sender und Empfänger der Automatik für die Heckscheibenheizung

Mit der Gegenkopplung über R7 ist die Verstärkung festgelegt. C4 leitet das verstärkte Signal auf einen Eingang des zweiten NAND-Gatters im IC SN 74132.

Sobald die eingehenden Impulse den temperaturkompensierten Triggerpegel von 1,7 V erreichen, werden sie als Rechteck-Signal an den Ausgang weitergegeben. Zur phasenrichtigen Weiterverarbeitung werden sie in einem weiteren Gatter invertiert. Die Hysterese des Schaltkreises beträgt dabei 0,8 V. Mit R11, D3 und C4 wird aus dem Ausgangssignal wieder angenähert eine Gleichspannung gewonnen, die über einen weiteren Schmitt-Trigger und den Darlingtontransistor T1 das Relais schaltet. Am Arbeitskontakt des Relais, das im Autozubehörhandel, beim Bosch-Dienst und in Werkstätten erhältlich ist, wird die Heckscheibe angeschlossen.

Aus der Eingangsspannung, die dem Bordnetz entnommen wird, erzeugt der Spannungsregler TDB 7805 die Stabilisierte Versorgungsspannung von 5 V.

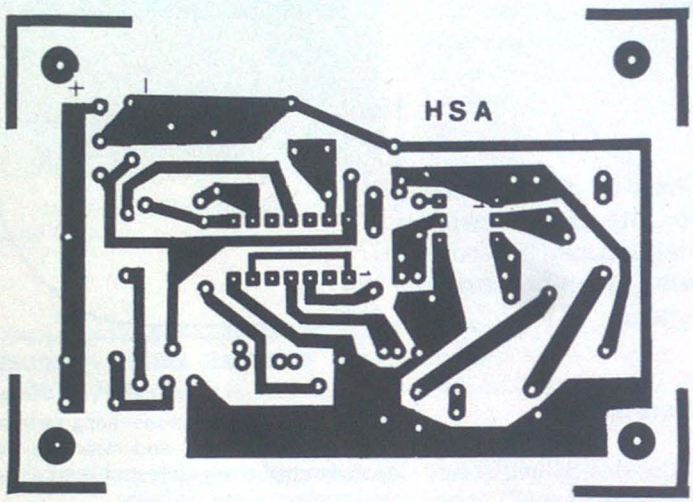


Bild 4. Platine zum Aufbau der vollständigen Automatik

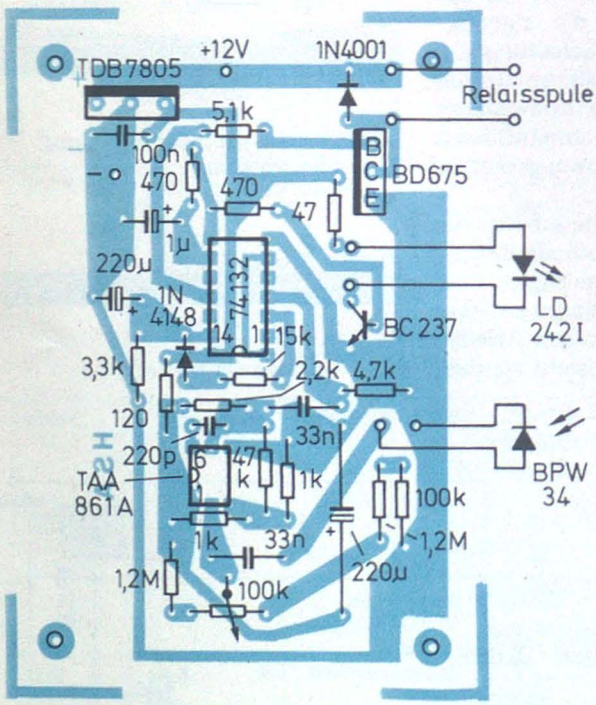


Bild 5. Bestückungsplan zur Platine. Extern werden nur Empfänger- und Sendediode angeordnet

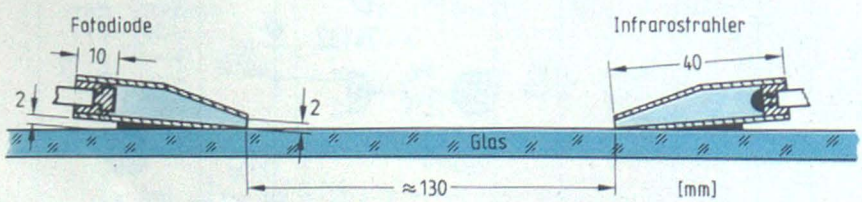


Bild 6. Bewährte Anordnung der Infrarotdioden auf einer ebenen Scheibe. Je nach Bedarf kann eine andere Placierung erforderlich sein

Sender und Empfänger auf Heckscheibe montieren

Der Aufbau auf der 70 × 90 mm² großen Platine (*Bild* 4) dürfte keine Schwierigkeiten bereiten. Auch das Relais kann darauf verschraubt werden (siehe Bestückungsplan *Bild* 5). Wenn eine geschützte Anbringung z. B. unter der Hutablage möglich ist, wird ein Gehäuse überflüssig. Gegen Feuchtigkeit sollte die Schaltung durch Übersprühen mit Lötlack gesichert werden. Angeschlossen wird die Schaltung an die Zuleitung zur Heckscheibe. Hinter der Automatik liegen dann die Reihe des Relais und die Heckscheibenheizung. Diese Anordnung macht das Verlegen längerer Kabel überflüssig und erlaubt z. B. bei trockenem Wetter, die Automatik über den Heckscheibenschalter am Armaturenbrett ganz außer Betrieb zu setzen.

Die Anbringung von Sender und Empfänger an der Scheibe zeigt *Bild* 6. Zur Anbringung können Messingröhrchen mit einem Innendurchmesser von 6...8 mm aus Bastlerläden verwendet werden. Sender- und Empfänger-Diode werden in die Röhrchen eingeklebt. Bei gewölbten Scheiben ist ein Anfeilen nicht erforderlich, da eine direkte Einstrahlung vom Sender zum Empfänger hier zwangsläufig vermieden wird.

Die Meßfläche sollte an einer Stelle liegen, die zuerst beschlägt und durch die Heizung erst spät erwärmt wird. Zum Schluß wird die Empfindlichkeit der Schaltung mit dem Trimmer P1 eingestellt.

Stichworte zum Inhalt
Heckscheiben-Heizung, Reflexionsfaktor, GaAs-Infrarotstrahler, Fremdlicht.

Dipl.-Ing. Edgar Stöhr

Ein vielseitiger Funktionsgenerator

Ein Funktionsgenerator gehört zur Grundausstattung eines jeden Meßplatzes. Die Industrie bietet eine große Zahl von Geräten an, teils als Fertigprodukt, teils als Bausatz. Nur wenige dieser Geräte besitzen jedoch die Eigenschaften des im folgenden beschriebenen Funktionsgenerators.

Für einen möglichst vielseitigen Generator sind folgende Eigenschaften wünschenswert:

- Möglichkeit einer Frequenzmodulation.
  Damit können Filterbaugruppen, Verstärker u. a. auf ihren Frequenzverlauf hin untersucht werden. Wird mit einem Rechteck moduliert, so kann ein FSK-Signal erzeugt werden.
- Möglichkeit einer Amplitudenmodulation.
  Dafür gibt es mannigfaltige Anwendungsmöglichkeiten, beginnend von einer Fehlersuche in Trägerfrequenzsystemen bis hin zur Simulation von Störungen in Regelkreisen.
- Offset der Ausgangsspannung sollte variabel sein.
  Für verschiedene Zwecke ist es notwendig, die Ausgangsspannung symmetrisch zur Nullinie, nur im positiven oder nur im negativen Bereich, zu erhalten.
- Der Ausgang sollte niederohmig sein. Er sollte eine hohe Strombelastbarkeit haben, um auch niederohmige Verbraucher anschließen zu können. Dies bedeutet entweder eine Ausgangsimpedanz von nahe 0 oder einen normierten Abschlußwiderstand von 50 Ω. Alle diese Forderungen erfüllt dieser Funktionsgenerator.

Drei Funktionsgruppen

Um die genannten Forderungen erfüllen zu können, gliedert sich das Gerät in drei Hauptbaugruppen, die jedoch alle auf einer Platine aufgebaut sind *(Bild 1)*:

a) Modulationsgenerator
b) Hauptgenerator
c) Nachverstärker und Netzteil

Modulationsgenerator und Hauptgenerator sind im Prinzip technisch identisch.

Es handelt sich jeweils um ein IC XR2206, die in ihrer Applikationsschaltung arbeiten. Der Unterschied zwischen den beiden Generatoren besteht nur darin, daß der Modulationsgenerator Frequenzen erzeugen kann, die um den Faktor Zehn tiefer liegen als die des Hauptgenerators.

Sinus- und Dreieckspannungen werden direkt aus dem IC entnommen. Die Rechteckspannung ist eine Triggerspannung, die das IC am Pin 11 erzeugt. Am Modulationsgenerator wird mit Hilfe von S1 und R1 die Modulationsfrequenz eingestellt.

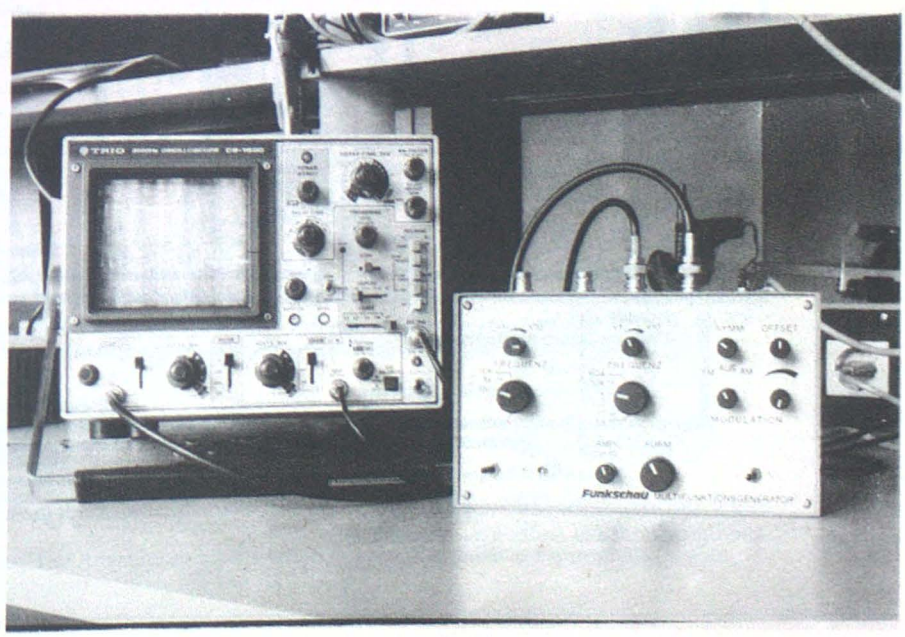
Das Ausgangssignal von IC1 gelangt über den Wahlschalter S2a an das Potentiometer R2, hier wird die Amplitude des Modulationshubs eingestellt. Über die Schalter S3 oder S4 gelangt das Signal nun an Pin 7 oder Pin 1 des zweiten IC XR2206. An Pin 7 verursacht die Spannung eine Frequenzverschiebung, an Pin 1 eine Amplitudenänderung. An diesem IC wird mit R3 und S5 die gewünschte Ausgangsfrequenz eingestellt.

Das IC erzeugt nun an Pin 2 eine Sinus- oder Dreieckspannung, je nach Schalterstellungen von S6b. Da diese in ihrer Amplitude unterschiedlich sind, ebenso wie die Rechteckspannung, gibt man sie auf die Teiler R4...R6, an denen der Schalter S6a die gewünschte Kurvenform abgreift.

Dieses Signal wird nun über R7 dem OP IC3 zugeführt, der es verstärkt und über R8 eine Gleichspannung zur Offsetverstellung addiert.

Der Ausgang des Operationsverstärkers hat bis zu einem Ausgangsstrom von ca. 70 mA einen scheinbaren Ausgangswiderstand von 0 Ω. Wird ein 50-Ω-Ausgang gewünscht, ist R* entsprechend einzusetzen.

R15 und R16 dienen zur Feineinstellung der Symmetrie der Ausgangsspannung. Bei geringeren Anforderungen können sie durch zwei 10-kΩ-Widerstände ersetzt werden, die in der Mitte geerdet sind.



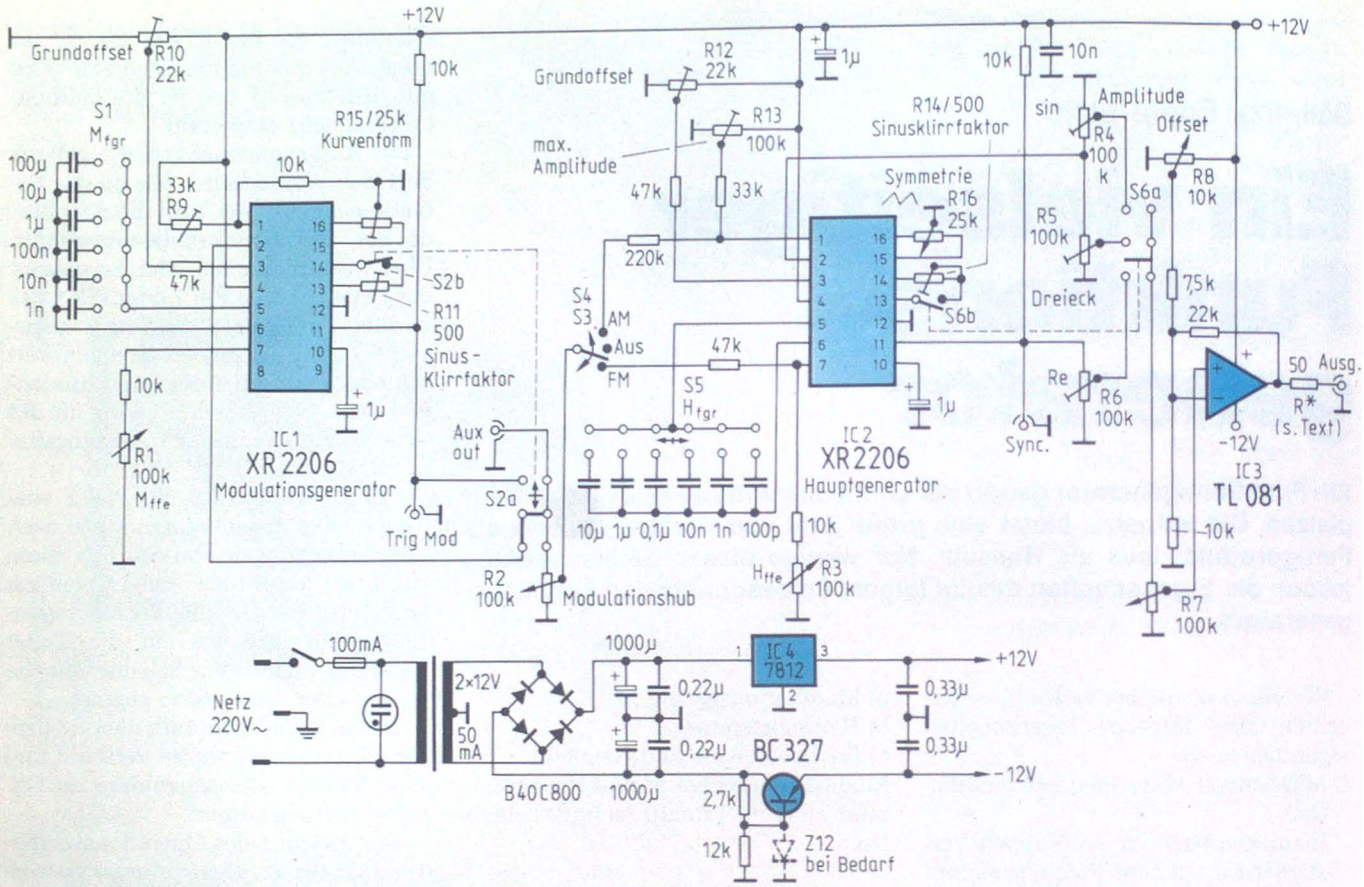


Bild 1. Die Gesamtschaltung des Funktionsgenerators besteht aus den Baugruppen Hauptgenerator, Modulationsgenerator sowie Netzteil und Ausgangsverstärker

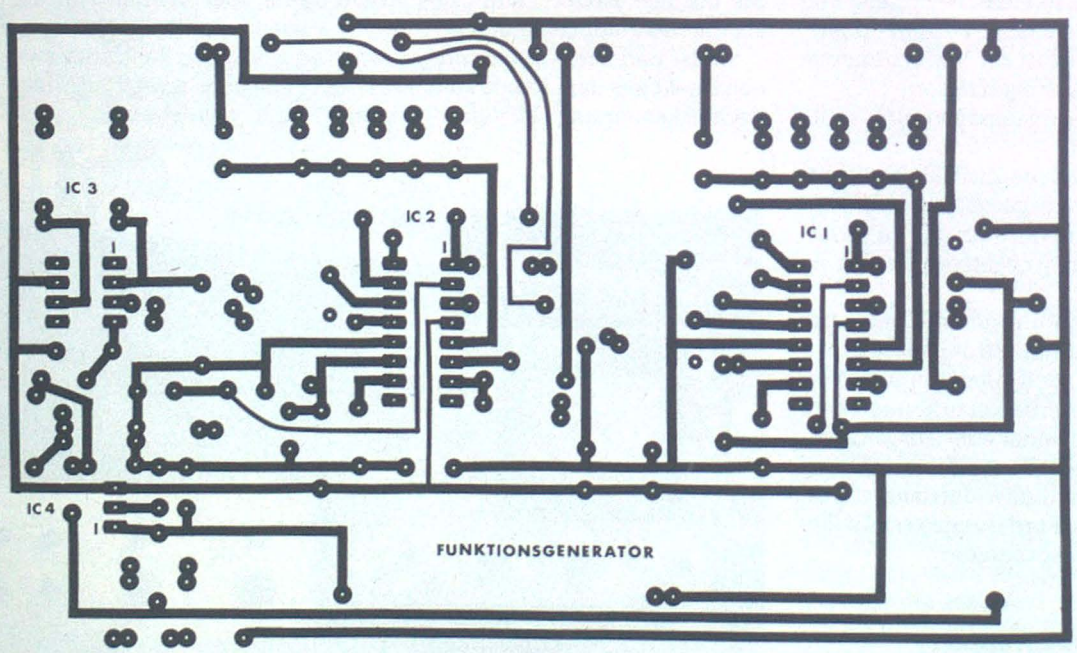


Bild 2. Die Platine für den Funktionsgenerator. Die Leiterbahnen sind mit großzügigem Abstand versehen, um einen problemlosen Aufbau zu ermöglichen

Unkritischer Schaltungsaufbau

Der gesamte Schaltungsaufbau ist unkritisch. Die Bestückung der Platine *(Bild 2)* bereitet keine Schwierigkeiten. Erhöhte Sorgfalt ist auf die Netzspannung führenden Leitungen zu legen.

IC1 und IC2 sind sehr empfindlich gegen Überspannungen. Deshalb sollten sie auf Sockel montiert werden (s. a. Bestückungsplan *Bild 3*). Schalter u. ä. müssen keinen besonderen Anforderungen genügen, im Mustergerät wurden einfache Hartpapierstufenschalter benutzt.

Das Mustergerät wurde in ein Teko-Gehäuse Typ 383 eingebaut, ein gedrängterer Schaltungsaufbau wäre möglich.

Abgleich mit Oszilloskop und Zähler

Zum Abgleich sind ein DVM, ein Oszilloskop und unter Umständen ein Zähler erforderlich.

Nach dem Aufbau sollten nach einer genauen Überprüfung der Verdrahtung ohne die steckbaren IC1 und IC2 die Versorgungsspannungen gemessen werden. Sie sollten ca. ±12 V betragen. Liegen diese vorschriftsmäßig an, so sind die ICs einzusetzen.

Das Oszilloskop wird nun an die Buchse AUX angeschlossen. Dort wird sich jetzt ein unbestimmtes Signal zeigen. Der Schalter S2 wird auf Dreieck gestellt und R9 auf maximale Ausgangsspannung abgeglichen. Nun wird mit R10 die Offsetspannung soweit verstellt, daß das Dreieck oben und unten gleiche Begrenzung aufweist. Dann wird R9 zurückgedreht, bis das Signal gerade verzerrungsfrei erscheint.

Nun wird S2 auf Sinus gestellt und der Sinus möglichst oberwellenfrei eingestellt. Dies geschieht mit R11. Der Abgleich an R9 und R10 muß wiederholt werden, falls es sich als notwendig herausstellt.

Nun kann ein Zähler an der Buchse AUX angeschlossen werden, um die Frequenzen in den einzelnen Stellungen von S1 zu überprüfen. Sollten eine oder mehrere Frequenzen stark abweichen, kann ein Abgleich durch Auswechseln des jeweiligen Bereichskondensators durchgeführt werden.

Sinngemäß geht der Abgleichvorgang nun mit dem Hauptgenerator weiter. Die Modulation muß dabei abgeschaltet sein. Gemessen wird am Schleifer des Schalters S6a, R4...R6 müssen auf Maximum stehen. Ist das Signal sichtbar, wird wie vor an R12 (Offset), R13 (Amplitude) und R14 (Sinusform) auf minimale Verzerrung und maximale Amplitude eingestellt. Dann wird wie vor die Frequenz überprüft.

Jetzt wird das Oszilloskop an der Buchse „Ausgang" angeschlossen und mit R4 ein Sinussignal eingestellt, das gerade noch verzerrungsfrei ist (R8 muß dabei in Mittellage stehen, R7 muß voll auf Maximum stehen). Dann

Tabelle der technischen Daten

Hauptgenerator:	
$U_{Ausg.\ ss}$	6 V
$f_{min.}$	1,5 Hz
$f_{max.}$	95 kHz + Sonderbereich 480...520 kHz
Kurvenform	Sinus, Rechteck, Dreieck
Anstiegszeit bei Rechteck	40 µs (bei max. Amplitude)
Triggerausgang:	5 V/10 kΩ
Modulationsgenerator:	
U_{aux}	8 V, 6 V, 12 V
$U_{Trigger}$	12 V/10 kΩ
$f_{min.}$	0,1 Hz
$f_{max.}$	93,5 kHz
$m_{max.}$	50 % (abhängig von der Art der Modulation)
$f_{max.}$	1 : 4...1 : 6 (abhängig von der Art der Modulation)

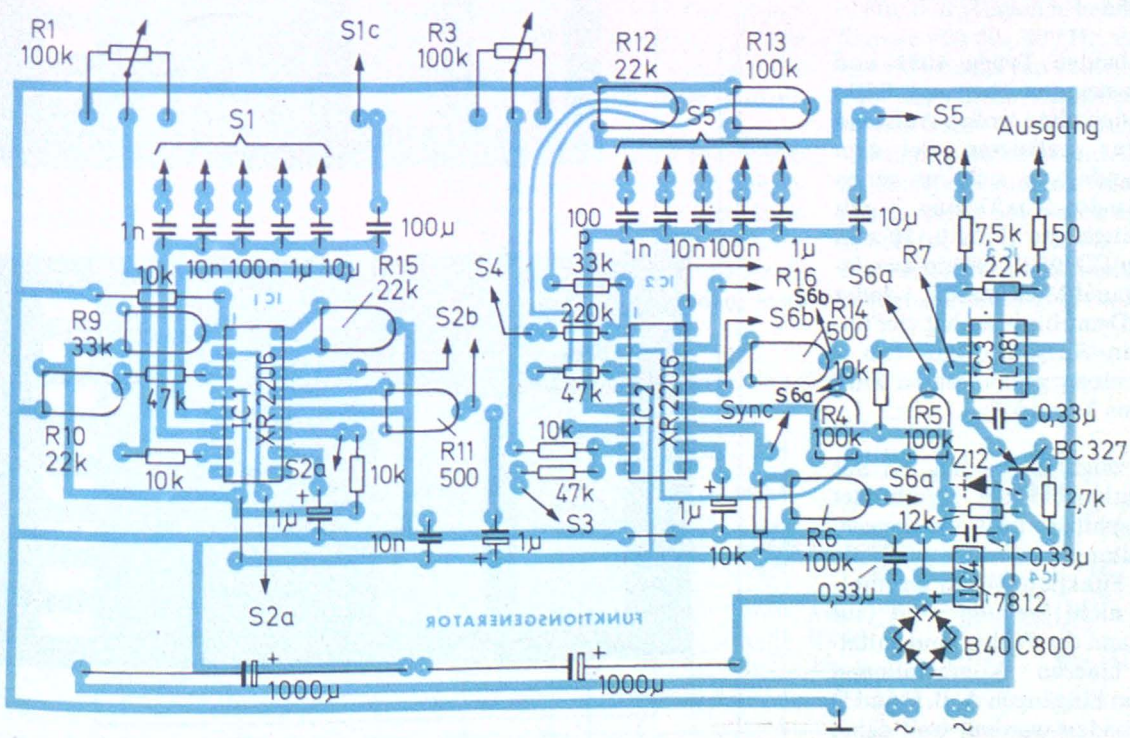


Bild 3. Bestückungsplan zur Platine. Die Anschlüsse für die extern zu montierenden Schalter und Buchsen sind jeweils eingezeichnet

stellt man in der Schalterstellung „Dreieck" mit R5 und der Schalterstellung „Rechteck" mit R6 die gleiche Ausgangsamplitude ein.

Nach einer Kontrolle der Offsetverschiebungs- und Modulationsmöglichkeiten ist das Gerät betriebsbereit.

Praktische Hinweise

Ist R* nicht eingebaut, zerstören hohe Fremdspannungen am Ausgang sowie Fremdspannungen an anderen Ausgängen des Gerätes das entsprechende IC.

Da die Kondensatoren der Frequenzeinstellung immer vergleichsweise ungenau und temperaturabhängig sind, empfiehlt es sich, die aktuelle Frequenz mittels eines Zählers einzustellen. Es ist natürlich möglich, eine Skala anzubringen und dort ungefähr abzulesen.

Als letztes ist noch zu sagen, daß abweichend von allen anderen Spannungen und Kurvenformen die Rechteckspannung am Ausgang nicht amplitudenmodulierbar ist und speziell bei höheren Frequenzen eine meßbare Flankenanstiegszeit aufweist.

In der *Tabelle* sind die wichtigsten technischen Daten zusammengefaßt.

Stichworte zum Inhalt
Frequenzmodulation, Amplitudenmodulation, FSK-Signal, Offset, XR2206, Sinusspannung, Dreieckspannung, Symmetrie, Flankenanstiegszeit.

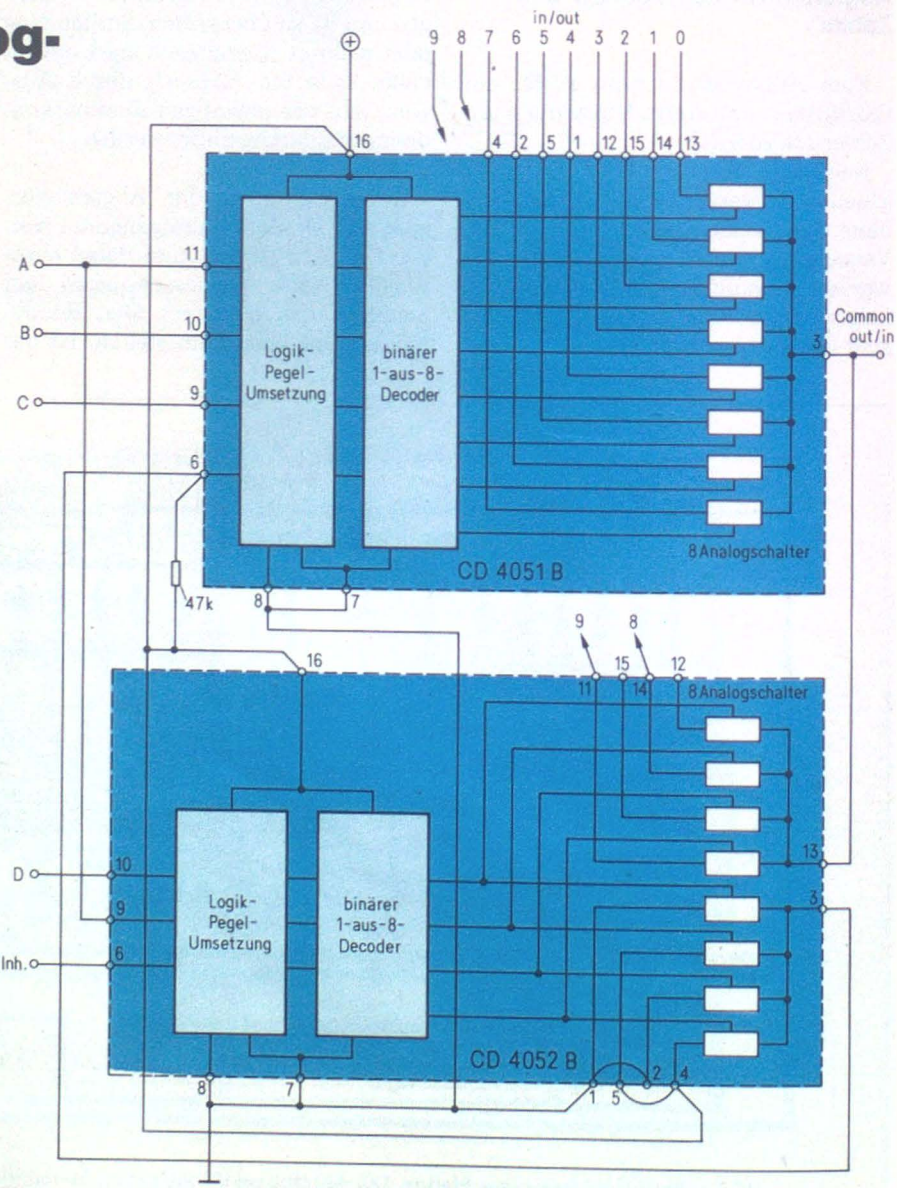
Zehnkanal-Analog-Multiplexer/ Demultiplexer

Wenn in Elektronik-Schaltungen ein Zehnkanal-Mux/Demux gebraucht wird, muß nicht unbedingt der teure – und erfahrungsgemäß schwer erhältliche – Typ 4067 eingesetzt werden, bei dem es sich um einen 16-Kanal-Baustein handelt.

Mit den beiden Typen 4051 und 4052, die zusammen etwa nur 6 DM kosten, läßt sich ohne großen Aufwand die Schaltung realisieren. Bei dem CD4051B handelt es sich um einen Achtkanal-Analog-Mux/Demux mit drei Adreßeingängen (Pins 9, 10 und 11). Der Typ CD4052B ist ein zweifacher Vierkanal-Mux/Demux. Jeder Multiplexer/Demultiplexer hat vier unabhängige Ein-/Ausgänge (Pins 1, 5, 2 und 4) und einen gemeinsamen Ein-/Ausgang (Pins 3 und 13).

Das *Bild* zeigt die beiden ICs mit ihren Funktionsblöcken. Verbindet man die Anschlüsse nach der angegebenen Schaltung, so erhält man die gewünschte Funktion. Wenn der Inhibit-Eingang nicht benötigt wird (auf „0" legen), kann der Widerstand entfallen. Die binären Kombinationen 10...15 an den Eingängen A, B, C und D sollten vermieden werden, weil dabei abwechselnd die Kanäle 8 und 9 durchgeschaltet werden.

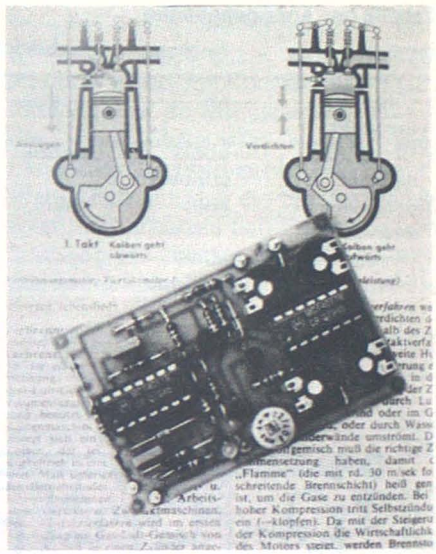
Siegmar Lieb



Aus den preiswerten Bausteinen 4051 und 4052 läßt sich mit wenig Aufwand ein Zehnkanal-Analog-Multiplexer/Demultiplexer aufbauen

Johannes Batram

Drehmoment-Indikator



Ständige Benzinpreiserhöhungen zwingen zu sparsamem Umgang mit dem wertvollen „Saft". Viele Untersuchungen beschäftigen sich mit den Einflüssen der Motortechnik, der Fahrwerk- bzw. Karosserietechnik und des Fahrstils auf den Benzinverbrauch. So zeigte sich, daß zügiges Beschleunigen und frühzeitiges Hochschalten den Verbrauch merklich verringert.

Zum sparsamen Verbrauch von Kraftstoff ist es wichtig, mit relativ niedriger Drehzahl zu fahren und nur bis in den Bereich des maximalen Drehmoments zu beschleunigen. Hier hilft eine einfache Schaltung, die mit nur einem (Doppel-LED) bzw. zwei (Einzel-LEDs) Anzeigeelementen auskommt. Sie zeigen fünf wichtige Bereiche an, wie der *Tabelle* zu entnehmen ist.

Vier Komparatoren aus CMOS-Gattern

Das Meßsignal wird entweder direkt von der Klemme 1 der Zündspule oder mittels einiger Windungen um das Hochspannungskabel (Verbindung von Zündspule zum Verteiler) abgenommen. Zu empfehlen ist hier eine flexible, abgeschirmte Leitung. Ein monostabiler Multivibrator (IC1a), gebildet aus zwei CMOS-Gattern, und ein nachgeschaltetes Integrierglied (R5, C3) bilden die Ansteuerung für vier Spannungskomparatoren (*Bild 1*). Dazu werden ebenfalls CMOS-NAND-Gatter verwendet, da sie ihren Umschaltpunkt bei ½ U_B haben. Zwei Komparatoren (1 und 2) für die Unter- bzw. Überdrehzahl steuern die Schalttransistoren direkt an.

Die beiden anderen Komparatoren (3 und 4) für den optimalen Drehmoment-Bereich schalten einen astabilen Multivibrator (IC1b) ein bzw. aus, wodurch auch der Übergangsbereich (bei Unter- bzw. Überschreiten des optimalen Bereiches) angezeigt wird. Die Transistoren T2 und T3 schalten die Doppel-LED bzw. die zwei Einzel-LEDs ein oder aus.

Um eine genaue Anzeige aller Bereiche zu gewährleisten, muß die Speisespannung stabilisiert sein. Man kann zwar die vorhandene stabile Betriebsspannung der Bordinstrumente (z. B. 10 V bei VW-Audi) verwenden, muß dann allerdings beim Abgleich auch die gleiche Spannung anlegen. Anderenfalls stimmt der Abgleich nicht. Zweckmäßigerweise verwendet man einen handelsüblichen Spannungsregler, z. B. 7809, der jedoch nicht auf der Platine (*Bild 2*) vorgesehen ist. Den Bestückungsplan zu der Platine zeigt *Bild 3*.

Abgleich mit Signalgenerator oder Drehzahlmesser

Für den Abgleich benötigt man Nf-Signale von 50...200 Hz, das entspricht einer Drehzahl von 1500...6000 pro Minute bei einem Vierzylinder-Viertaktmotor. Steht ein Drehzahlmesser zur Verfügung, so kann der Abgleich auch im Kfz vorgenommen werden. Der Abgleich erfolgt am besten schrittweise.

1. Schritt:

Die stabilisierte Spannung U_B anschließen. Meßsignal von der Zünd-

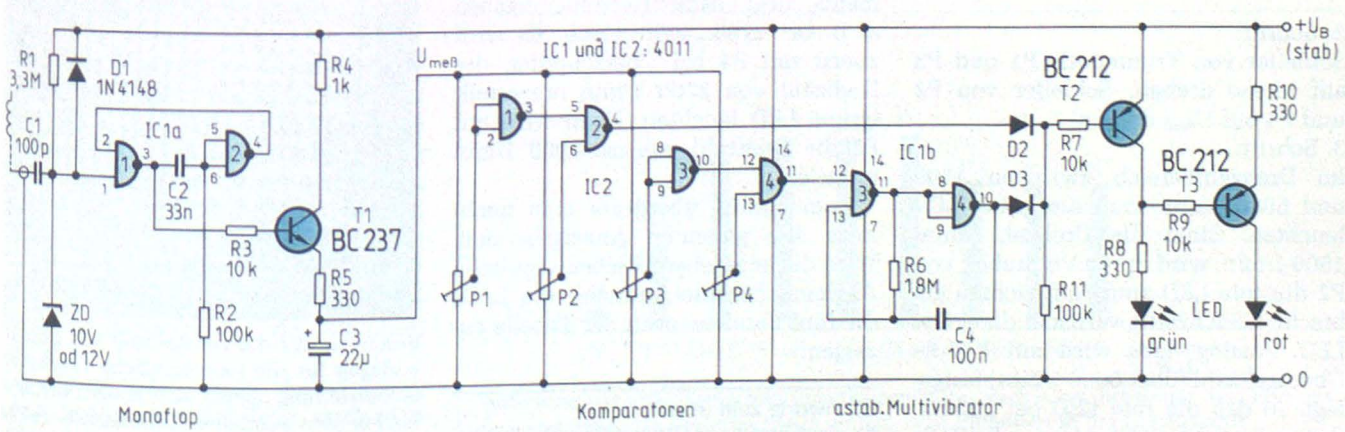


Bild 1. Die Schaltung ermöglicht die Anzeige von fünf Drehzahlbereichen des Motors, die jeweils durch Potentiometer beliebig festgelegt werden können

Tabelle der Anzeigebereiche

Bereich	Anzeige	Verbrauch	Motorbetriebszustand
1 Unter-drehzahl	rot	niedrig	Leerlauf, nicht beschleunigen, Gefahr f. Lager
2 Übergangs-bereich	blinkt grün-rot	niedrig	beschleunigen, auf Autobahn rollen lassen
3 optimaler Bereich	grün	mittel	hochschalten
4 Übergangs-bereich	blinkt grün-rot	hoch	unwirtschaftlich, nur auf Autobahn oder Schnellstraßen
5 Überdreh-zahl	rot	hoch	Dauerbetrieb unzulässig

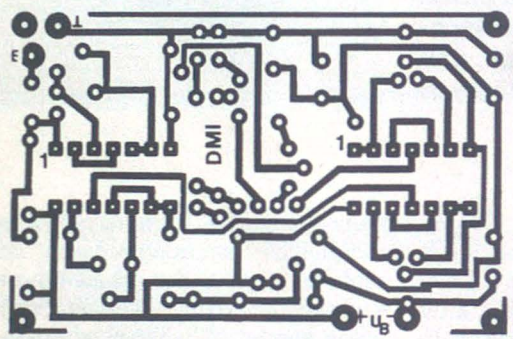


Bild 2. Platine zum Aufbau der gesamten Schaltung

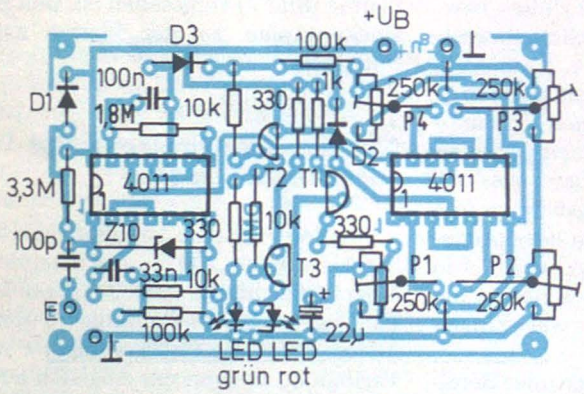


Bild 3. Die Bestückung der Platine bereitet keinerlei Schwierigkeiten, lediglich auf die richtige Lage der ICs und Polarität der Dioden ist zu achten

spule oder vom Nf-Generator anschließen.

2. Schritt:
Schleifer von Trimmpotis P1 und P3 auf Masse drehen, Schleifer von P2 und P4 auf $U_{meß}$ drehen.

3. Schritt:
Im Drehzahlbereich zwischen 1500 und 6000 1/min muß die grüne LED leuchten. Sinkt die Drehzahl unter 1500 1/min, wird durch Verdrehen von P2 die rote LED zum Aufleuchten gebracht. Gleichzeitig verlischt die grüne LED. Analog dazu wird mit P1 die Überdrehzahl (über 6000 1/min) festgelegt, so daß die rote LED bei 200 Hz, das entspricht 6000 1/min, ebenfalls aufleuchtet.

4. Schritt:
Der Bereich des optimalen Drehmoments liegt nach Herstellerangaben z. B. bei 2700...4000 1/min. Es wird zuerst mit P4 bei Überschreiten der Drehzahl von 2700 1/min eingestellt (grüne LED leuchtet). Dann wird mit P3 die Drehzahl von ca. 4000 1/min festgelegt.

Zum Schluß überprüfe man nochmals den gesamten Anzeigebereich. Wird die angegebene Reihenfolge beim Abgleich beachtet, müssen die LEDs die fünf Bereiche nach der Tabelle anzeigen.

Stichworte zum Inhalt
Benzinverbrauch, Kfz-Drehzahlbereich, Drehmoment, Unterdrehzahl, Überdrehzahl.

Platinen selbstgemacht

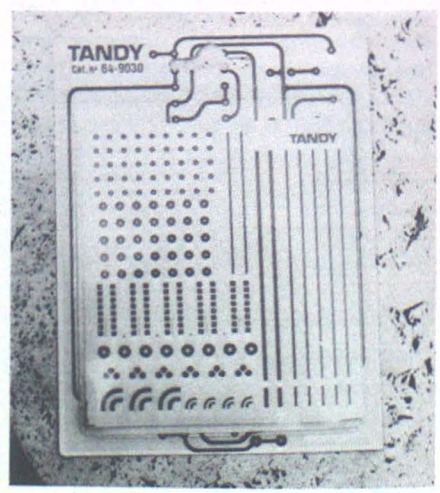
Für den Hobbyelektroniker gibt es mehrere Möglichkeiten, seine Platinen herzustellen. Die einen bevorzugen ätzfeste Tusche, andere benutzen einen Filzstift, der speziell für diese Zwecke angeboten wird. Diese Techniken erfordern einiges Geschick und Erfahrung.

Einfacher geht es mit Aufreibesymbolen, bei denen Leiterbahnen und Lötaugen mit einem Stift aus Kunststoff oder Hartholz aufgerieben werden (*Bild*). Es empfiehlt sich dabei, die Stellen, an denen später die Bohrungen liegen sollen, zusätzlich mit Körnerschlägen auf der Kupferseite zu markieren. Nur zur Abdeckung größerer Flächen sollte man auf die ätzfeste Tusche zurückgreifen.

Möchte man mehr als nur eine einzelne Platine ätzen, bietet sich die Herstellung einer Folie für das fotochemische Verfahren an.

Auch hierbei erreicht man mit den Aufreibefolien ein sauberes Aussehen und scharfe Kanten der Leiterbahnen. Zwar sind die fotobeschichteten Platinen teurer, doch der geringere Material- und Zeitaufwand rechtfertigen deren Verwendung.

Man kann auch Fotokopierlack (z. B. Positiv 20 von Kontakt-Chemie) verwenden und damit eine handelsübliche kupferkaschierte Platine behandeln; das setzt jedoch einige Erfahrung voraus. Für den Umgang mit dem Fotolack gibt Kontakt-Chemie auf Anfrage eine kostenlose Broschüre ab.



Besonders für die Herstellung von Folienvorlagen für die fotochemische Leiterplattenherstellung eignen sich Aufreibesymbole. Für den schnellen Laboraufbau reicht jedoch vielfach die Verwendung ätzfester Lackstifte (Foto: Ta.)

Was man in USA verdient

Das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) untersucht jährlich mit einer Umfrage unter seinen amerikanischen Mitgliedern die Gehaltsentwicklung bei Ingenieuren und Technikern. Aufgrund der sorgfältigen Aufbereitung der Daten und der vielen Quervergleiche ist diese Untersuchung auch für nichtamerikanische Leser interessant. Wir bringen nachstehend mit Genehmigung der Zeitschrift „spectrum" eine zusammenfassende Übersicht, wie sie in der Beilage „The Institute" veröffentlicht worden ist. Wegen der starken Wechselkursschwankungen in den letzten 12 Monaten geben wir ausnahmsweise die ermittelten Zahlen in Dollar an.

Eine der Kernaussagen der Gehaltsübersicht 1981 des IEEE ist, daß rund zwei Drittel der antwortenden Mitglieder 31 000 Dollar im Jahr oder mehr verdienen. Dabei stellt sich heraus, daß es vor allem bei der geographischen Zuordnung in den USA zunehmende Unterschiede gibt. Die Nord-Ost-Region (zwischen Philadelphia und der kanadischen Landesgrenze) sowie die westlichen Bundesstaaten – von Nevada über Kalifornien bis Washington – zahlen um rund 10 % besser als die südlichen Bundesstaaten. Eine weitere, etwas überraschende Korrelation ergibt sich aus der Zuordnung von erlerntem Beruf und ausgeübtem Beruf: Diejenigen Mitglieder, die in ihrem erlernten Beruf tätig sind, beziehen im Durchschnitt höhere Gehälter als ihre Kollegen, die in einen anderen Beschäftigungszweig abgewandert sind.

Kampf gegen die Inflation

Die bei dem ersten Überblick aufgrund des Umrechnungskurses recht stattlichen Gehälter erweisen sich bei genauerer Hinsicht als Windeier. Der Gehaltsschwerpunkt hat sich zwar von 32 000 Dollar (1979) auf fast 37 000 Dollar (1981) erhöht, was einem Zuwachs von gut 15 % entspricht. Im gleichen Zeitraum aber stiegen die Verbraucherpreise infolge der Inflation um 27 %.

Verfolgt man diese Entwicklung noch weiter zurück, dann muß man mit einigem Unbehagen feststellen, daß die meisten Gehälter nach Kaufkraft hinter den Stand von 1972 zurückgefallen sind. Diese Erkenntnis muß erschrecken: Sie muß für die Entwicklung der führenden Industrienation auf der Welt erhebliche Konsequenzen haben. Die Symptome sind ähnlich denen in Deutschland: Technisch-naturwissenschaftliche Berufe verlieren zunehmend an Attraktivität. Selbst von den berühmten Hochschulen hört man, daß zunehmend Plätze für Assistenzprofessoren und wissenschaftliches Personal offenbleiben.

In den Städten wird mehr verdient

Die Gehälter in den (teureren) Großstädten liegen teilweise deutlich über dem Durchschnitt (*Tabelle 1*). Wie schon in den vergangenen Jahren führen hier vor allem die technisch-wissenschaftlichen Ballungszentren und deren Einzugsbereiche. Eine überraschende Ausnahme macht die Stadt Philadelphia, die vor zwei Jahren noch die Liste anführte, jetzt aber unter den Landesdurchschnitt zurückgefallen ist. Weiter fällt auf, daß die beiden großen westlichen Zentren San Francisco und Los Angeles rascher in der Einkommensentwicklung fortschreiten als die

Tabelle 1:

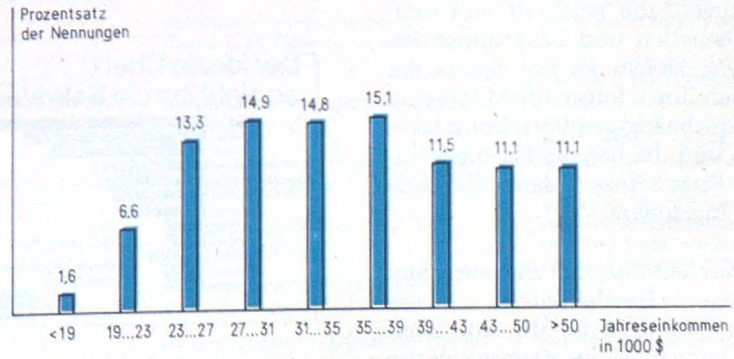
Durchschnittliche Einkommen von IEEE-Mitgliedern in den Ballungszentren (1981); Angaben in Tausend Dollar pro Jahr

New York City	41,5
San Francisco	39,8
Los Angeles	39,3
Boston	38,8
Washington	37,8
Chicago	36,9
US-Durchschnitt	**36,9**
Philadelphia	36,7
Florida	33,5

Tabelle 2:

Amerikanische Ingenieursgehälter nach Branchen geordnet (1981); Angaben in Tausend Dollar pro Jahr

Kommunikationsindustrie	39,1
Consultings	38,8
OEM-Hersteller	38,0
Telefonhersteller	37,9
US-Durchschnitt	**36,9**
Ingenieurbüros	36,7
Computertechnik	36,7
Telefonbetreiber	36,7
Zubehörindustrie	36,0
Elektromaschinenbau	35,5
Luftfahrtelektronik	35,4
Forschung und Lehre	35,3
Staatl. Dienststellen	35,1
EVU	34,6



Verteilung der amerikanischen Ingenieursgehälter nach einer Erhebung des IEEE aus dem Jahr 1981. Die vorletzte Säule umfaßt zwei Einheiten in der Gehaltsskala

(Bild: IEEE spectrum)

Tabelle 3:

US-Gehälter, gestaffelt nach der spezifischen Tätigkeit der Befragten (1981); Angaben in Tausend Dollar pro Jahr

Elektron. Baugruppen	39,6
Nachrichtensysteme	38,6
Datenverarbeitung	38,1
Funkortung	37,8
Energieerzeugung	37,6
Forschung	37,4
Militärelektronik	37,2
US-Durchschnitt	**36,9**
Luftfahrtelektronik	36,8
Staatsdienst	34,8
Meßtechnik	34,8
Industr. Steuerungen	34,8
Energieverteilung	34,0
Softwareerstellung	33,3

alte „Neu-England-Achse". Der Boom im Silicon-Valley ist offensichtlich immer noch nicht am Ende: Einer der Gründe, warum viele namhafte Firmen neue Ansiedlungen wieder auf der Achse Philadelphia-Boston planen.

In welchem Industriezweig was verdient wird

Ordnet man die Gehälter nach den Branchen der Arbeitgeber, dann ergibt sich das Bild in *Tabelle 2*. An der Spitze stehen die Betreiber von Kommunikationsnetzen, gefolgt von den beratenden Ingenieuren. Knapp durchschnittlich bezahlt werden die Leute in den Ingenieurbüros und in der Datenverarbeitung. Deutlich zurück fallen die Beschäftigten bei den staatlichen Behörden, in der Energiewirtschaft und in Lehre und Unterricht. Fragt man statt dessen nach der spezifischen Beschäftigung des Arbeitnehmers innerhalb seiner Firma, dann sieht das Bild ein wenig anders aus (*Tabelle 3*):

Diejenigen, die sich mit elektronischen Bauteilen und Baugruppen beschäftigen, stehen an der Spitze der Verdiener. Ihnen folgen die Mitarbeiter in den unabhängigen Forschungslaboratorien und die beratenden Ingenieure. Auf Platz 3 liegen dann die Meßtechnik-Ingenieure.

Überraschend ist, daß aber auch hier diejenigen Beschäftigten relativ schlecht bezahlt sind, die mit Energieerzeugung oder -übertragung zu tun haben. Auch in der Militärelektronik – vielerorts eher zu den Spitzenzahlern gehörig – kann man in den USA keine Reichtümer anhäufen, wie die Tabelle deutlich ausweist.

Im ganzen muß man wohl feststellen, daß das letzte Jahrzehnt für die amerikanischen Elektroingenieure eher ein Rückschlag war. Die goldenen Zeiten, die in den 60er Jahren auch viele deutsche Ingenieure zu einem vorübergehenden Aufenthalt in den USA verholfen haben, sind längst vorbei. Tom Lombardo/Kp

Antennen-Spezialisten aufgerufen

Der Fachausschuß 13 „Antennen" der Nachrichtentechnischen Gesellschaft im VDE (NTG) veranstaltet unter Mitwirkung des Fachausschusses 14 „Wellenausbreitung" vom 16. bis 19. März 1982 in Baden-Baden eine Fachtagung über das Thema „Antennen". Behandelt werden sollen Grundfragen der Antennentechnik für die verschiedenen Anwendungen ohne Einschränkung des Frequenzbereichs, unter anderem:

- Linear-, Planar-, Reflektor- und Hornantennen sowie phasengesteuerte und adaptive Gruppenantennen;
- Speisesysteme, Radome;
- aktive Antennen, Breitbandantennen, Antennen mit speziell geformten Strahlungscharakteristiken, doppelpolarisierte Antennen;
- Nahfeldprobleme, Umgebungs- und Ausbreitungseinflüsse, numerische Verfahren, Meßtechnik, Antennentechnologie.

Vorgesehen sind Beiträge von 20 Minuten Dauer in deutscher und ausnahmsweise englischer Sprache. Vortragsmeldungen mit einer Inhaltsübersicht von ein bis zwei Schreibmaschinenseiten und evtl. zusätzlich erläuternden Skizzen werden schnellstens erbeten an Professor Dr. G. Ries, UNI-GH-Siegen, FB 13, Hölderlinstraße 3, 5900 Siegen 21.

Der Programmausschuß entscheidet Anfang Oktober über das endgültige Tagungsprogramm. Unmittelbar danach wird um Einreichung der vollständigen Vortragsmanuskripte für den Tagungsband bis zum 24. Dezember 1981 gebeten. Kp.

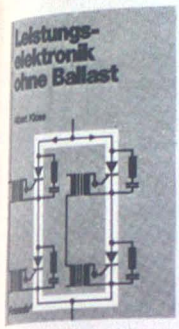
Der ideale Chef

Vertrauen, Menschlichkeit und Gerechtigkeit – das sind die meistgewünschten Tugenden des Chefs nach einer Umfrage des GWI-Instituts München. Befragt wurden 1500 Sekretärinnen zu den ihrer Meinung nach wichtigsten der folgenden Chefeigenschaften:

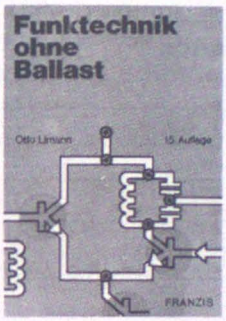
Vertrauen (wurde von 66,4 % der Befragten angegeben), Menschlichkeit (55,3 %), Gerechtigkeit (43,5 %), Kommunikation (31,4 %), Delegationsbereitschaft (29,7 %), Entscheidungsfreude (25,9 %), Ausgeglichenheit (23,4 %), Humor (11,1 %), Höflichkeit (10,4 %).

Gefragt ist also der Chef, der seiner „rechten Hand" Vertrauen entgegenbringt und in den Turbulenzen der täglichen Zusammenarbeit Menschlichkeit und Gerechtigkeit nicht vergißt. Interessant ist, daß Liebenswürdigkeit bei Chefs weniger gefragt ist (1,6 %) und Großzügigkeit nicht ins Gewicht fällt (1,8 %). Auch mit Rücksichtnahme können Chefs nicht allzuviele Blumentöpfe gewinnen: Nur 6,2 % wünschen sich diese Tugend. Allerdings drängt sich der Verdacht auf, daß diese Eigenschaften gerne dem Paket „Menschlichkeit" zugeordnet werden.
GWI

Das Basiswissen für den Berufserfolg mit Büchern ohne Ballast



Leistungselektronik ohne Ballast.
Eine praxisnahe Einführung in die Schaltungstechnik der Leistungselektronik. Von Albert **Kloss.** – 222 Seiten, 172 Abbildungen. Lwstr-geb. DM 36.–
ISBN 3-7723-6691-0
Die aussagekräftigen Abbildungen können schnell hintereinander studiert werden und der Leser ist für das erste gut informiert.
Im Mittelpunkt steht hier die in der Praxis am häufigsten angewendete Drehstrom-Brückenschaltung. Neben den theoretischen Grundlagen der stationären und transienten Zustände des Stromrichters konzentriert sich der Stoff auf Störungsfälle, Schutz, Kühlung und besonders Netzrückwirkungen.



Fernsehtechnik ohne Ballast.
Einführung in die Schaltungstechnik der Schwarzweiß- und Farbfernsehempfänger. Von Ing. Otto **Limann.** – 13., neu bearbeitete Auflage. 340 Seiten, Großformat, mit 525 Abbildungen sowie 4 Farbtafeln und zahlreichen Tabellen. Lwstr-kart. DM 34.–
ISBN 3-7723-5273-1
Stufe für Stufe beschreibt der Autor die Schaltungstechnik und die Eigenschaften moderner Fernsehempfänger.

Elektronik ohne Ballast.
Eine Einführung in die Schaltungstechnik der industriellen Elektronik. Von Ing. Otto **Limann.** – 6., verbesserte und erweiterte Auflage. 349 Seiten, Großformat, mit 684 Abbildungen und zahlreichen Tabellen. Lwstr-geb. DM 38.–
ISBN 3-7723-5616-8
Hier formt sich in Einzeldarstellungen, was Stück für Stück zusammengefaßt elektronisches Messen, Steuern und Regeln ausmacht.

Phonotechnik ohne Ballast.
Aufbau, Arbeitsweise und Wartung von Plattenspielern und Cassettentonbandgeräten sowie Schallplatten und Tonbandcassetten. Von Ing. Günther **Fellbaum** und Ing. Wolfgang **Loos.** 184 Seiten, 191 Abbildungen und 7 Tabellen. Lwstr-kart. DM 30.–
ISBN 3-7723-6451-9

Tonbandtechnik ohne Ballast.
Eine Einführung in die Mechanik und Elektronik moderner Heimtonbandgeräte. Von Egon-Fred **Warnke.** 3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. 150 Seiten, 121 Abbildungen, 12 Schaltpläne. Lwstr-kart. DM 29.80
ISBN 3-7723-5283-9

Funktechnik ohne Ballast.
Einführung in die Schaltungstechnik der Rundfunkempfänger mit Röhren, Transistoren und integrierten Schaltungen. Von Ing. Otto **Limann.** – 15., neu bearbeitete Auflage. 362 Seiten mit 596 Abbildungen und zahlreichen Tabellen. Lwstr-kart. DM 34.–
ISBN 3-7723-5265-0
Die Darstellung ist auch bei geringen Vorkenntnissen leicht zu begreifen. Sie ist immer auf die praktische Anwendung in der Empfängertechnik ausgerichtet und mit vielen erläuternden Zeichnungen angereichert.

Die elektronischen Grundlagen der Radio- und Fernsehtechnik.
Vom Ohmschen Gesetz zum Transistor. Von Ing. Kurt **Leucht.** – 11. Auflage, 408 Seiten, Großformat, mit 688 Abbildungen und 8 Tabellen. Lwstr-kart. DM 34.–
ISBN 3-7723-5321-5
Wer die Merksätze (409) in diesem Werk beherrscht und die Wiederholungsfragen (566) richtig beantwortet, ist fit für die Praxis.
In diesem Fachbuch werden die elementarsten Grundlagen so einfach, so selbstverständlich, so ausführlich und so breit wie möglich dargelegt.

Franzis-Bücher erhalten Sie durch jede Buchhandlung sowie in den einschlägigen Fachhandlungen. Bestellungen auch an den Verlag.

Franzis' der große Fachverlag für angewandte Elektronik

Funkschau

Elektronik in Audio und Video, Kommunikation und Meßtechnik

Herausgeber
FRANZIS-VERLAG GmbH
Anschrift für Verlag, Redaktion, Vertrieb, Anzeigenverwaltung und alle Verantwortlichen: Karlstr. 37, 8000 München 2, Postanschrift: Postfach 37 01 20, 8000 München 37, Fernruf 0 89/51 17-1, Fernschreiber (Telex) 5 22 301, Postscheckkonto München 57 58-8 07.

Verlagsleiter: Peter G. E. Mayer

Gesellschafter: G. Franz'sche Buchdruckerei G. Emil Mayer KG, München (100 %)

Redaktion:
Chefredakteur: Dipl.-Ing. Klaus H. Knapp
Chef vom Dienst: Dipl.-Ing. Ulrich Radke
Ressortredakteure:
Ing. (grad.) Rudolf Auer (Audio, Video)
Dipl.-Ing. Klaus H. Knapp (Berufswissen, express)
Ing. (grad.) Thomas Knoll (Kommunikation, aktuell)
Dipl.-Ing. Ulrich Radke (Grundlagen)
Ekkehard Scholz (Praxis & Hobby, Leserbriefe)
Ing. (grad.) Wolf Peter Tangermann (Meßtechnik, Werkstatt & Service, Neuheitenmarkt)
Prof. Karl Tetzner (Neue Medien)
Eigene Korrespondenten:
Japan: Kazuo Kataoka, c/o Tokyo International Communication, Inc., Uiyajima Bldg., 28 Yoyogi 1-chome, Shibuya-ku, Tokyo
USA: Stanley Baker, 504 Nino Ave., Los Gatos, Ca. 95030
Funkschau-Labor:
Ing. (grad.) Hans Neumayr
Nachdruckrechte, Sonderdrucke und Lizenzen: Siegfried Pruskil
Fertigsteller: Robert Hufnagel

Anzeigen:
Anzeigenleiter: Gerhard Walde
Disposition: Karin Meewis
Telefon (0 89) 51 17-2 36
Anzeigenpreise nach Preisliste Nr. 25

Die FUNKSCHAU erscheint vierzehntäglich, jeweils freitags im 53. Jahrgang

Bezug:
Vertriebsleiter: Peter Habersetzer

Bestellungen nehmen jede Buchhandlung im In- und Ausland, die Deutsche Bundespost und der Verlag entgegen. Die Kündigung des Abonnements ist bei jährlicher Zahlweise 8 Wochen zum Kalenderjahresende, bei vierteljährlicher Zahlweise 8 Wochen zum Quartalsende möglich.

Bezugspreis: Das Einzelheft kostet im Inland DM 4.–, im Ausland DM 4.30. Das Jahresabonnement kostet im Inland DM 90.–, im Ausland DM 96.–. Der Abonnementspreis für das Vierteljahr (6 bzw. 7 Hefte) – nur im Inland möglich – beträgt DM 24.38. In diesen Preisen ist die gesetzliche Mehrwertsteuer in Höhe von 6,5 % enthalten, in den Abonnementspreisen auch die Versandkosten. Jahresabonnementspreise in ausländischer Währung: bfr 1776.–, hfl 110.–, öS 830.– zuzüglich öS 42.– Portoerhöhung = öS 872.–, sfr 91.–, USA surface mail: $ 54.–, airspeed: $ 79.–.

Verantwortlich für den Textteil: Ulrich Radke, für den Anzeigenteil: Gerhard Walde.

Druck: Franzis-Druck GmbH, Karlstraße 35, 8000 München 2, Fernsprecher (0 89) 51 17-1

Printed in Germany. Imprimé en Allemagne.
ISSN 0016-2841

Auslandsgesellschaft:
Franzis Publishing Co.
Managing Director: Michael-Alexander Mayer,
2816 Clay St., San Francisco, CA 94115, USA,
phone: (415) 346-2032,
telex: (TWX) 910-372 2019

Auslandsvertretungen für Anzeigen:
Schweiz: Exportwerbung AG, Neptunstraße 20, 8032 Zürich, phone: 01-47 46 90, telex 53 327

United Kingdom: Publicitas Ltd., 525/527 Fulham Road, London SW6 1HF, phone: 01-3 85 77 23, telex: 919 223 publon

Japan: International Media Ltd., 2-29, Toranomon 1-chome, Minato-ku, Tokyo, phono: 502-06 56, telex: 22 633

USA: International Media Marketing, 16704 Marquardt Ave. P.O. Box 1234, Cerritos. CA 90701, phone: (213) 9 26 95 44, telex: 9 105831 412

France: Agence Gustav Elm, 41, Avenue Montaigne, 75008 Paris, phone: 01-723 32 67

Italia: Rancati advertising, Milano San Felice Torre 5, I 20090 Segrate, phone: 02-7 53 14 45, telex: 3 11 010

Auslandsvertretungen für Bezug:
Danmark: Jul. Gjellerups Boghandel, Kopenhagen K., Solvgade 87.

Nederland: De Muiderkring N.V., Bussum, Nijverheidswerf 17-19-21.

Österreich: Fachbuch Center Erb, 1061 Wien, Amerling-Str. 1.

Schweiz: Verlag Thali AG, 6285 Hitzkirch (Luzern).

France: Librairie Parisienne de la Radio, 43, rue de Dunkerque, 75010 Paris.

Die in der Zeitschrift veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder andere Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache übertragen werden. Auch die Rechte der Wiedergabe durch Vortrag, Funk- und Fernsehsendung, im Magnettonverfahren oder ähnlichem Wege bleiben vorbehalten.

Fotokopien für den persönlichen und sonstigen eigenen Gebrauch dürfen nur von einzelnen Beiträgen oder Teilen daraus als Einzelkopien hergestellt werden. Jede im Bereich eines gewerblichen Unternehmens hergestellte oder benützte Kopie dient gewerblichen Zwecken gem. § 54 (2) UrhG und verpflichtet zur Gebührenzahlung an die VG WORT, Abteilung Wissenschaft, Goethestraße 49, 8000 München 2, von der die einzelnen Zahlungsmodalitäten zu erfragen sind.

© 1981 Franzis-Verlag, München

Bei Erwerb, Errichtung und Betrieb von Empfängern, Funksprechgeräten, drahtlosen Mikrofonen und anderen Funkanlagen in der Bundesrepublik Deutschland sind die geltenden gesetzlichen und postalischen Bestimmungen zu beachten.

Für Bauanleitungen, Schaltungen und Programme in der FUNKSCHAU zeichnen die Verfasser bzw. Entwickler verantwortlich. Die Redaktion hat die Manuskripte, Schaltungen und Programme mit größter Sorgfalt geprüft, kann aber für Fehler im Text, in Schaltbildern, Aufbauskizzen, Stücklisten, Programm-Listings usw., die zum Nichtfunktionieren oder evtl. zum Schadhaftwerden von Bauelementen führen, weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.

Sämtliche Veröffentlichungen in der FUNKSCHAU erfolgen ohne Berücksichtigung eines eventuellen Patentschutzes, auch werden Warennamen ohne Gewährleistung einer freien Verwendung benützt.

Chiffre-Zuschriften dürfen sich nur auf den Inhalt der betreffenden Anzeigen beziehen. Zuschriften, die wir als Werbesendungen erkennen, werden nicht weitergeleitet.